

分类号:P54

10710-2012127055



# 长安大学

## 硕士学位论文

东昆仑东段南坡闹仓坚沟组地质特征、物源属性  
与构造演化

陈伟男

|        |           |        |           |
|--------|-----------|--------|-----------|
| 导师姓名职称 | 裴先治 教授    |        |           |
| 申请学位级别 | 理学硕士      | 学科专业名称 | 构造地质学     |
| 论文提交日期 | 2015年4月9日 | 论文答辩日期 | 2015年6月2日 |
| 学位授予单位 | 长安大学      |        |           |

Geologic Features, Provenance Analysis and Structural  
Evolution of Naocangjiangou Formation at the in the Southern  
Slope of the East Kunlun (East part)

A Dissertation Submitted for the Degree of Master

Candidate: Chen Weinan

Supervisor: Prof. Pei Xianzhi

Chang'an University, Xi'an, China

## 论文独创性声明

本人声明：本人所提交的学位论文是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表的成果。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：陈伟男 2015 年 4 月 9 日

## 论文知识产权权属声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为长安大学。

(涉密论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名：陈伟男 2015 年 4 月 9 日

导师签名：陈伟男 2015 年 4 月 9 日

---

## 摘要

沉积盆地和造山带为大陆地壳上最为重要的构造单元,二者之间的耦合关系是大陆动力学研究的热点。盆地沉积碎屑物则是盆地沉积和构造演化的直接证据,更反映了物源区和沉积盆地的有机联系,因此通过研究盆地沉积碎屑物,进而恢复沉积盆地的沉积环境以及源区构造背景。本文以分布于东昆仑东段南坡的中三叠统闹仓坚沟组沉积地层为研究对象,以沉积岩石学、碎屑组分统计分析、岩石地球化学及碎屑锆石同位素年代学等方法相结合,综合研究闹仓坚沟组沉积特征,分析物源及其构造属性,在此基础上结合前人研究成果,建立恢复东昆仑地区晚古生代—早中生代古特提斯洋的构造演化过程。主要获得以下进展和成果:

1、根据地层岩石组合与沉积环境的差异,将闹仓坚沟组由下到上划分为上下两个亚组,8个段。其中下亚组(一段—四段)主要为一套碎屑岩夹碳酸盐岩组合,表现为浅海陆源碎屑陆棚沉积环境;上亚组(五段—八段)主要为一套碳酸盐岩夹碎屑岩组合,表现为浅海碳酸盐岩台地沉积环境。说明此时弧前盆地有趋于填满的势头,沉积层序上表现为水深变浅。结合前人古生物资料、碎屑锆石年龄信息,晚三叠世科科鄂阿龙岩体的侵入及不整合接触面(上覆中三叠统希里可特组与闹仓坚沟组呈微角度不整合接触,上覆上三叠统八宝山组与闹仓坚沟组呈角度不整合接触)四个方面,确定闹仓坚沟组地层时代为中三叠世( $T_2$ )。

2、闹仓坚沟组砂岩岩相学特征显示为近源沉积; Dickinson 三角图解显示闹仓坚沟组沉积地层的物质来源比较复杂,主要为碰撞造山带和再旋回造山带,少数来自于岩浆弧;砂岩地球化学显示闹仓坚沟组沉积地层的物源区构造背景为大陆岛弧。综合认为闹仓坚沟组物源区构造背景为大陆岛弧。

3、通过对闹仓坚沟组碎屑锆石 U-Pb 年龄研究表明,样品 11072/15 碎屑锆石年龄值主要有(226~324Ma、372~576Ma、749~936Ma、1010~1092Ma)4个年龄组。闹仓坚沟组下亚组第二段 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄信息证明闹仓坚沟组沉积地层的物源主要为东昆仑地区原特提斯洋和古特提斯洋演化所形成的岩浆弧以及与其相配套的沉积地层。结合区域资料和上述分析结果认为闹仓坚沟组物源区主要为晚海西—早印支期安第斯型陆缘弧,加里东期岩浆弧次之。

4、综合前人研究成果及区域构造岩浆演化事件,将东昆仑南缘晚古生代—早中生代构造演化过程划分为4个阶段:(1)晚泥盆世—中二叠世古特提斯洋壳形成及扩张阶

段；(2) 晚二叠世—中三叠世古特提斯洋壳俯冲消减与陆缘弧发育阶段；(3) 中三叠世末古特提斯洋闭合与碰撞造山阶段；(4) 晚三叠世碰撞造山后伸展与侏罗纪叠加改造阶段。

关键词：东昆仑东段南坡；弧前盆地；中三叠统闹仓坚沟组；碎屑组分统计；砂岩地球化学；LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄；物质来源；构造演化

## Abstract

Sedimentary basins and Orogenic belts are the most important structural unit on the continental crust, their coupling relation is a hot of continental dynamics research. The clastic of sedimentary basin either is the direct evidence of sedimentary basin and tectonic evolution or reflects the link of provenance and sedimentary basins. So studying the clastic of sedimentary basin can restore the sedimentary environment and tectonic setting of the source region of sedimentary basin. This thesis mainly focus on the Naocangjiangzou Formation in Middle Triassic which located in the southern slope of the East Kunlun Orogen, with sedimentary petrology, statistical analysis of detrital composition, geochemistry and zircon geochronology methods to study sedimentary characteristics and structure properties of Naocangjiangzou Formation, recovery tectonic evolution of East Kunlun Orogen which in late Paleozoic - early Mesozoic on the basis of previous. At the same time, some new advances and preliminary cognitions are proposed as follows:

1, It divided Naocangjiangzou Formation into two sub-groups from the bottom to the top by the difference formation rock composition and sedimentary environment. The upper sub-groups is clastic rock and a small amount of carbonate rock, the performance of shallow water clastic continental shelf sedimentary environment. The under sub-groups is carbonate rock and a small amount of clastic rock, the performance of shallow marine carbonate platform sedimentary environment. Description at this forearc basin have tended to fill up the momentum, the performance of the sedimentary sequence of shallow depth. It determined deposition times of Naocangjiangzou Formation by Paleontological data, Zircon ages, Kekealong intruded and the unconformable contact, it is Middle Triassic.

2, Naocangjiangzou Formation is Near deposition by petrography. The Dickinson's Triangle Graphic display the source material is more complex of Naocangjiangzou Formation, the provenance mainly come from the Collisional orogenic belt and Recycled orogen, the little provenance come from Magmatic arc. The construction background of Naocangjiangzou Formation is continental arc by Sandstone geochemistry.

3, The study of detrital zircon U-Pb age shows that detrital zircons in sample 11072/15 from Naocangjiangou Formation has 4 age groups including 226~324Ma、372~576Ma、

749~936Ma、1010~1092Ma. The under subgroups of the Naocangjiangzou Formation second paragraph of detrital zircon U-Pb age of information to demonstrate strong ditch downtown warehouse sedimentary strata was the main source for the East Kunlun area Proto-Tethys Ocean and the Paleo-Tethys evolution of the form magmatic arc and its complement of sedimentary strata. Combined with regional data and the analysis results are considered strong downtown warehouse Xiagou provenance mainly late Hercynian-Early Indosinian Andean-type continental margin arc, Caledonian magmatic arc is second palce.

4, Combined regional information the tectonic evolution of the study area can divide into four evolution stages, oceanic crust formation stage in early Carboniferous, oceanic spreading stage from late Carboniferous to middle Permian, the oceanic crust subduction stage from late Permian to middle Triassic, demise of the oceanic basin and collide-to-orogenesis stage at the end of Triassic, Cenozoic intracontinental orogenic stage.

**Key Words: The southern slope of the East Kunlun; Forearc Basin; Middle Triassic Naocangjiangzou Formation; detrital composition; Sandstone geochemistry; detrital zircon LA-ICP-MS U-Pb ages; Material source; Tectonic evolution**

# 目 录

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....                   | 1  |
| 1.1 选题依据及其科学意义 .....           | 1  |
| 1.2 研究现状及存在问题 .....            | 2  |
| 1.2.1 相关理论研究现状 .....           | 2  |
| 1.2.2 研究区的研究现状及存在问题 .....      | 3  |
| 1.3 研究目的及研究内容 .....            | 4  |
| 1.3.1 研究目的 .....               | 4  |
| 1.3.2 研究内容 .....               | 5  |
| 1.4 研究方法及技术路线 .....            | 5  |
| 1.4.1 室内预研究 .....              | 5  |
| 1.4.2 研究思路及工作方法 .....          | 5  |
| 1.4.3 实验测试方法 .....             | 6  |
| 1.5 主要实物工作量 .....              | 7  |
| 第二章 区域地质背景 .....               | 8  |
| 2.1 大地构造背景 .....               | 8  |
| 2.2 区域构造及边界断裂特征 .....          | 8  |
| 2.3 区域地层 .....                 | 11 |
| 2.4 区域岩浆岩 .....                | 16 |
| 2.4.1 侵入岩 .....                | 16 |
| 2.4.2 蛇绿岩和镁铁—超镁铁质岩 .....       | 18 |
| 2.4.3 火山岩 .....                | 20 |
| 第三章 东昆仑东段南坡中三叠统闹仓坚沟组地质特征 ..... | 21 |
| 3.1 地层沿革及划分 .....              | 22 |
| 3.1.1 地层沿革及时代归属 .....          | 22 |
| 3.1.2 闹仓坚沟组地层划分 .....          | 22 |
| 3.2 闹仓坚沟组地层沉积特征及沉积环境 .....     | 24 |
| 3.2.1 典型剖面地层特征 .....           | 24 |
| 3.2.2 闹仓坚沟组地层沉积特征、沉积环境分析 ..... | 33 |

|   |    |
|---|----|
| 第四章 东昆仑东段南坡中三叠统闹仓坚沟组物源分析 .....              | 35 |
| 4.1 闹仓坚沟组岩相学特征及源区判别 .....                   | 35 |
| 4.1.1 砂岩岩相学特征.....                          | 35 |
| 4.1.2 碎屑组分特征及物源分析.....                      | 36 |
| 4.2 砂岩岩石地球化学特征及源区分析 .....                   | 39 |
| 4.2.1 常量元素地球化学特征.....                       | 39 |
| 4.2.2 稀土及微量元素地球化学特征.....                    | 42 |
| 4.2.3 物源区构造环境及属性分析.....                     | 46 |
| 4.3 砂岩 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 同位素年龄及物源分析 ..... | 49 |
| 4.3.1 碎屑锆石的形貌学特征.....                       | 49 |
| 4.3.2 碎屑锆石年龄谱特征.....                        | 50 |
| 4.3.3 碎屑锆石年龄谱信息.....                        | 54 |
| 4.4 物源属性综合分析 .....                          | 56 |
| 第五章 东昆仑造山带晚古生代—早中生代构造演化过程 .....             | 58 |
| 5.1 晚泥盆世—中二叠世古特提斯洋壳形成及扩张阶段 .....            | 58 |
| 5.2 晚二叠世—中三叠世古特提斯洋壳俯冲消减与陆缘弧发育阶段 .....       | 58 |
| 5.3 中三叠世末古特提斯洋闭合与碰撞造山阶段 .....               | 59 |
| 5.4 晚三叠世碰撞造山后伸展与侏罗纪叠加改造阶段 .....             | 59 |
| 第六章 结论与存在问题 .....                           | 61 |
| 6.1 结论 .....                                | 61 |
| 6.2 存在问题 .....                              | 62 |
| 参考文献 .....                                  | 63 |
| 攻读硕士学位期间取得的研究成果 .....                       | 72 |
| 致 谢 .....                                   | 74 |

## 第一章 绪论

### 1.1 选题依据及其科学意义

东昆仑造山带是中央造山系西段的重要组成部分,北侧为柴达木地块,南侧为布青山—阿尼玛卿构造混杂岩带和巴颜喀拉造山带,西侧以阿尔金断裂为界并与西昆仑造山带相接,东隔共和盆地与西秦岭造山带相邻。由于其特殊的大地构造位置,东昆仑造山带漫长的构造演化过程一直是地质学者所研究的热点之一,使其在中国大陆板块形成与演化过程中处于重要地位<sup>[1-28]</sup>(姜春发等,1992,2000;殷鸿福等,1997;裴先治等,2001,2002,2011,2012;王永标等,1997,2001,2003;边千韬等,1999,2001;朱云海等,1999;陈亮等,2000,2001,2003;许志琴等,2001,2006a,2006b;张国伟等,2003;杨经绥等,2004,2005;郭安林等,2006;王国灿等,1997,1999,2003,2004,2007)。自古元古代以来,东昆仑造山带历经多期次多旋回造山活动,经过反复的板块裂解、拼合以及洋陆构造的相互转换,最终形成了十分复杂的岩石组合和构造变形。东昆仑造山带是一个复合大陆造山带,作为多次造山运动的沉积响应,沉积盆地同样记录了东昆仑造山带的地质演化历史。因此,研究和剖析东昆仑复合造山带一系列的沉积地层对恢复东昆仑地区的构造演化及其地球动力学背景有着重要的科学意义。

沉积岩是地壳的重要组成部分,是地质作用的直接结果,因此它所承载的地质信息对研究和恢复造山带构造发展演化具有十分重要的科学意义。长期以来,许多地质学者对东昆仑东段及周缘沉积地层做了大量的研究,积累了一定的研究成果,但缺少系统性的综述,并且研究区地质历史演化漫长,具有复杂的地形和恶劣的气候等自然因素,导致对研究区的研究程度不够深入,形成许多不同的观点和认知。因此,需要综合现有的各种理论及方法手段来揭示东昆仑造山带东段的形成演化历史。

本次研究工作,主要依托国家自然科学基金项目《东昆仑南缘布青山蛇绿混杂岩带物质组成、结构与构造演化过程》、青海省国土资源厅—中国铝业公司公益性区域地质矿产调查项目《青海省都兰县阿拉克湖—红水川地区 I47E002007、I47E002008、I47E003005、I47E003006、I47E003007、I47E003008、I47E004008 七幅 1:5 万区域地质矿产调查》和中央高校基本科研业务费专项资金项目《东昆仑造山带东段阿拉克湖—希里可特一带晚古生代构造—岩浆事件研究》等项目的实施,在导师裴先治教授的指导下,于 2012~2014 年期间对东昆仑造山带东段广大地区进行了野外地质调研,重点研

究沉积地层的岩石组合及特征、构造变形及造山带构造演化。

选题《东昆仑东段南坡闹仓坚沟组地质特征、物源属性及构造演化》的依据主要有以下两点：

(1) 东昆仑造山带主体构造格架是在前泥盆纪古造山带基底基础之上，历经布青山—阿尼玛卿古特提斯洋打开、俯冲及碰撞造山而改造的产物。因此正确认识东昆仑造山带一系列沉积地层的沉积环境和物源属性，对恢复东昆仑造山带的构造格局具有重要意义。

(2) 闹仓坚沟组为中三叠世的碎屑沉积地层，它的沉积环境和盆地属性记录了布青山—阿尼玛卿古特提斯洋演化过程及邻区的构造岩浆热事件的信息。因此，研究和探讨闹仓坚沟组的物源不仅能填补物源部分的空白，而且阐释了研究区盆地沉积与构造热事件的关系。

## 1.2 研究现状及存在问题

### 1.2.1 相关理论研究现状

造山带和沉积盆地是地质学最为基本的两大研究对象，更是现代板块构造理论及大陆动力学研究的重要载体。造山带是岩石圈在地质力的作用下所形成的复杂的构造变形带，常常表现为相对隆起的狭长山脉；沉积盆地则伴随造山带的形成而生成的产物，它所反映的沉积环境和盆地属性则记录了有关造山带构造演化过程的信息。沉积盆地作为造山运动的沉积相应，说明二者之间存在密不可分的联系。在以往的研究中忽略了造山带和沉积盆地之间的关联，致使大陆动力学的理论体系停滞不前<sup>[29]</sup>（吴根耀，2002）。而作为大陆动力学研究的热点，造山带与沉积盆地的耦合关系很可能是研究大陆动力学理论体系一个新的突破口，也是研究大陆构造新的突破口之一<sup>[30]</sup>（张原庆，2001）。

盆山耦合主要表现为二者在时间和空间上同步演化并相互依存，其演化过程又紧密联系，造山带为沉积盆地提供物质来源，并且相互作用。大陆造山带和沉积盆地是威尔逊旋回的必然产物，是碰撞造山后由于重力等其他应力的作用下发生的地壳物质的不断循环。诸多地质学者在盆山耦合研究方面认为盆山系统应具有这样的内涵：首先沉积盆地和造山带是大陆构造中两个最为重要的基本单元；二者作为一对孪生体应在统一的地球动力学机制下形成，相互伴生，相互依存；最为重要的是二者之间存在着物质及能量的交换系统；盆山体系是整个复杂的地球演化系统中的一部分<sup>[31]</sup>（刘树根等，2003）。目前，盆山耦合是国内外地质学界研究的重点之一，更是揭示造山带与沉积盆地之间联

系的最新手段, 很多地质工作者根据现有的资料发现造山带与盆地的地形地貌、物质组成, 作用机理、形成时代以及环境等方面的一些联系, 并且在应用到地质领域及地质相关行业中取得很好的成果。因此沉积盆地的物源分析广泛应用于古大陆环境的恢复再造、地壳演化生长、盆—山相互作用等方面的研究<sup>[7,32-34,36]</sup> (Dickinson et al, 1979, 1983; 杜远生等, 1997, 2002; 裴先治等, 2012, 2015)。

### 1.2.2 研究区的研究现状及存在问题

鉴于东昆仑造山带的特殊构造背景, 长期以来, 许多地质学者对其构造、岩浆岩以及沉积地层都进行了许多基础地质研究, 并且做出了部分成果。上世纪 70 年代末东昆仑造山带东部地区开始布置了 1:20 万区域地质调查任务, 基本完成了东昆仑造山带东段大部分地区的 1:20 万地质图和矿产图。东昆仑地区的综合研究工作自上世纪 90 年代开始进入了高效快速阶段, 对该地区基础地质工作和地质研究方面都有了很大程度提高和深入, 并且陆续出现了许多研究成果。如 1:100 万青海省地质图、1:200 万青海省地质构造图、1:200 万青海省岩浆岩图、《青海省区域地质志》(青海省地矿局, 1991)、《青海省青藏高原板块构造》(高延林等, 1991)、《东昆仑区域构造发展演化》(郑建康, 1992)、《东昆仑华力西期—印支期花岗岩组合及构造环境》(古风宝等, 1995)、《青海省岩石地层》(青海省地矿局, 1997)、《东昆仑—唐古拉地区地壳演化、深部构造及大陆动力学》(许志琴等, 1997)、《中华人民共和国冬给措纳湖幅 1:250000 区域地质调查报告》(殷鸿福等, 2000)、《东昆仑复合造山带蛇绿岩、岩浆岩及构造岩浆演化》(朱云海, 2002)、《中华人民共和国阿拉克湖幅 1:250000 区域地质调查报告》(王国灿等, 2003)、《青海省区域地质概论—1:100 万青海省地质图说明书》(张雪亭等, 2007) 和《昆仑山及邻区地质》(李荣社等, 2008) 等。

根据最新最成熟的研究成果, 许多学者一致认为东昆仑造山带应划分为东昆北构造带、东昆中构造带及东昆南构造带<sup>[38-41]</sup>。此次研究工作区域位于东昆仑造山带东段南坡, 大地构造位置为东昆南构造带。东昆南构造带自泥盆纪以来沉积有一系列因古特提斯洋演化而形成的沉积地层, 包括下泥盆统牦牛山组 ( $D_{1m}$ )、下石炭统哈拉郭勒组 ( $C_{1hl}$ )、上石炭统浩特洛哇组 ( $C_{2ht}$ )、中—下二叠统马尔争组 ( $P_{1-2m}$ )、上二叠统格曲组 ( $P_{3g}$ )、下三叠统洪水川组 ( $T_{1h}$ )、中三叠统闹仓坚沟组 ( $T_{2n}$ )、中三叠统希里可特组 ( $T_{2x}$ ) 及上三叠统八宝山组 ( $T_{3b}$ ) 和下侏罗统羊曲组 ( $J_{1y}$ )。其中中生代沉积地层也存在很多争议, 蔡雄飞等 (2008) 通过研究认为该地区的印支运动可以划分三期: 早期 (早三叠世

至早一中三叠世) 主要表现为洪水川组与闹仓坚沟组时期强烈的下降继而又上升为特征, 中期(中三叠世至晚三叠世) 以希里可特组到八宝山组时期下降和上升为特征, 晚期表现为晚三叠世一早侏罗世的继续抬升, 并致使东昆仑地区出露极少的侏罗纪地层, 表现为侏罗纪之后的古近纪地层直接不整合覆盖在三叠纪地层之上<sup>[37]</sup>; 陈国超(2013) 认为东昆仑地区晚三叠世早期已经进入后碰撞构造阶段<sup>[60]</sup>; 骆满生等(2001) 认为东昆仑造山带东段的应力场在晚三叠世一早侏罗世发生转变, 进入松弛阶段, 伴随其后有发生陆相再次挤压, 这种挤压机制下的逆冲推覆作用使羊曲组以构造岩片的形式分布在东昆中蛇绿混杂岩带内<sup>[61]</sup>; 刘智刚(2011) 认为东昆仑造山带东段在早三叠世一直处在一个不稳定的活动背景之下, 认为早三叠世的沉积地层是在俯冲背景下的弧前盆地动荡环境中沉积形成<sup>[57]</sup>; 陈国超(2011) 认为中一晚三叠世东昆仑地区进入陆内造山阶段, 标志着古特提斯洋东段的最终消亡<sup>[58]</sup>; 李瑞保(2012) 研究认为东昆仑造山带是一个多期次多旋回的大型复合造山带, 并且在中三叠世晚期一晚三叠世早期的碰撞造山作用下形成了主体构造格架, 并且晚三叠世之后的后碰撞造山作用及陆内造山叠加改造作用进行了再一次的调整和改造, 继而形成了现在东昆仑造山带的构造格架<sup>[59]</sup>; 殷鸿福等(2003) 研究认为东昆仑地区三叠系沉积地层的环境属于前陆盆地<sup>[41]</sup>; 而蔡雄飞(2008) 经过一系列研究, 认为东昆仑三叠系地层具有弧后盆地沉积特征, 并否认了其构造环境为前陆盆地这一观点<sup>[42]</sup>。

东昆仑构造带经历了多期漫长的构造演化史, 使其有着复杂多样的物质组成和结构构造, 区域内地层层序相对完整, 但是对其构造演化史和构造格架还没有形成统一的意见。随着各种新的研究手段的出现, 就可以通过全方面的研究, 寻找不同具有特殊地质意义的证据。比如通过区内各种火成岩的形成年龄以及类型来判断他们分别属于那种环境, 从而反演当时的地质构造特征。但目前来说还是不够充足, 尤其是缺乏来自沉积地层方面的证据, 缺乏对沉积地层的分布范围、地层单位划分、接触关系、岩相学特征及岩石学特征等系统化的研究。

## 1.3 研究目的及研究内容

### 1.3.1 研究目的

本论文主要依据野外实测及观察资料, 结合区域上已有的地质资料和成果, 以盆山耦合为切入点, 在现代地质学理论及方法的指导下进行研究。本文的研究对象为东昆仑东段南坡的中三叠统闹仓坚沟组沉积地层, 通过沉积岩石学、岩相学、沉积岩岩石地球

化学及同位素年代学对其进行地层空间展布特征、形成时代、盆地性质、物质来源及源区属性等方面的分析，确定闹仓坚沟组具体形成时代，古构造环境及源区构造属性，为东昆仑造山带东段古特提斯洋的演化提供早中生代沉积方面的资料。

### 1.3.2 研究内容

本文以东昆仑造山带东段南坡地区中三叠统闹仓坚沟组碎屑岩为研究对象，选择重点区域进行野外地质剖面测制，在野外详细记录并初步分析闹仓坚沟组沉积地层的地质特征，并且系统采样用于做室内分析测试，研究其沉积学、岩相学，同位素年代学以及岩石地球化学方面的特征。同时结合前人的研究资料和成果进行深入研究分析。进而探讨闹仓坚沟组的地质特征、物质来源以及构造演化过程。主要研究内容有以下几点：

(1) 通过野外地质调查研究，初步分析闹仓坚沟组的地质特征，采集岩石标本和薄片标本，进行室内显微镜镜下观察，综合描述并确定沉积地层的沉积环境以及与周围地质体接触关系等沉积学特征，并结合区域地质资料，确定闹仓坚沟组形成时代，梳理东昆仑构造带中生代盆地叠置关系。

(2) 通过沉积学特征、碎屑组分、岩石地球化学和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学 4 个方面的研究，探讨闹仓坚沟组沉积地层的物质来源、古构造环境及源区构造背景。

(3) 综合各方面的研究成果，结合区域岩浆活动事件及所研究地质单元的地质演化特征，进而讨论东昆仑造山带东段的构造演化过程。

## 1.4 研究方法及技术路线

### 1.4.1 室内预研究

在掌握东昆仑造山带东段最新研究成果及进展的基础上，大量收集东昆仑造山带东段南坡沉积地层分布范围、地层单位划分、接触关系、沉积特征及岩相学特征、岩石地球化学和同位素年代学等地质资料，分析其主要物质组成、物源属性及构造演化过程。在研究区现有研究程度的基础上，充分吸收研究区及邻区最新的相关成果，并运用国内外相关领域新方法和新理论展开室内研究工作。

### 1.4.2 研究思路及工作方法

采用横穿剖面法对东昆仑造山带东段南坡早中生代地层（主要指闹仓坚沟组）的物质组成及盆地性质进行分析研究，恢复和重建造山带主体在板块汇聚和陆内造山阶段的基本构造格架。研究中注意以下 2 个方面：①东昆仑东段南坡闹仓坚沟组与中生代沉积

地层之间的叠置或接触关系，通过沉积学特征研究其沉积环境；②采集中三叠统闹仓坚沟组典型岩石薄片样品、岩石地球化学样品和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试样品，进行岩相学、盆地性质和源区属性研究，进一步探讨东昆仑造山带东段的构造演化过程。

### 1.4.3 实验测试方法

本文研究过程中主要运用的实验测试方法有砂岩碎屑成分统计分析、砂岩岩石地球化学的主量、微量元素分析和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试。具体测试方法以及承担单位如下：

#### (1) 碎屑成分统计分析

Dickinson (1985) 曾经统计了世界上一万多个典型地区的砂岩碎屑成分，并对其进行系统的统计和划分，最后将不同物源区的边界线进行量化，进而构建了 Dickinson 三角图解（构造背景判别图）<sup>[43]</sup>。本文采用 Dickinson—Gazzi 点计法对 17 件砂岩样品进行分析，在 UB-200i 偏光显微镜镜下使用直线法统计砂岩组分，相邻两条测线之间的距离约为矿物平均粒径的两倍，单个样品所统计的颗粒数不低于 350 个，并且排除杂基含量大于 25% 的样品。

#### (2) 岩石地球化学样品分析

砂岩样品的主量、微量元素及稀土元素分析测试在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室完成，常量元素利用 X-射线荧光光谱仪 (XRF-1500) 法分析，用 0.5g 样品和 5g 四硼酸锂制成的玻璃片在光谱仪上测定氧化物的含量，分析精度优于 2%~3%。微量及稀土元素利用酸溶法制备样品，使用 ICP-MS (Element II) 测试，分析精度为：当元素含量大于  $10 \times 10^{-6}$  时，精度优于 5%，当含量小于  $10 \times 10^{-6}$  时，精度优于 10%<sup>[44,45]</sup> (Chen *et al.*, 2000, 2002)

#### (3) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年

实验过程如下：将测年样品粉碎至 80~100 目，并用常规浮选方法进行分选，得到大于 400 粒锆石后，再在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒作为测定对象。将锆石颗粒粘在双面胶上制靶，然后进行锆石显微（反射光和透射光照相）、阴极发光 (CL) 显微图像研究及 LA-ICP-MS 分析。锆石的反射光和透射光显微照相以及阴极发光 (CL) 显微照相由中国地质科学院北京离子探针中心扫描电镜及阴极发光实验室完成。根据锆石反射光、透射光显微照片以及 CL 照片，反复对比选取没有裂隙和包裹体的锆石作为测试点。

锆石原位 U-Pb 同位素年龄分析在西安地质矿产研究所的 LA-ICP-MS 仪器上用标准测定程序进行。分析仪器为 Elan6100DRC 型四极杆质谱仪和 Geolas200M 型激光剥蚀系统, 激光器为 193nmArF 准分子激光器。激光剥蚀斑束直径为 24 $\mu\text{m}$ , 激光剥蚀样品的深度为 20~40 $\mu\text{m}$ 。锆石年龄计算采用国际标准锆石 91500 作为外标, 元素含量采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃 NIST SRM610 作为外标,  $^{29}\text{Si}$  作为内标元素进行校正。样品的同位素比值和元素含量数据处理采用 CLITTER(4.0 版, Maquarie University) 软件, 并采用 Andersen(2002)软件对测试数据进行普通铅校正, 年龄计算及谐和图采用 ISOPLOT (2.49 版) 软件完成。详细的实验原理和流程及仪器参数见文献<sup>[47,48]</sup> (袁洪林等 2003; Yuan H L et al, 2004)。根据前人研究形成的理论, 对于年龄大于 1000Ma 的锆石, 采用  $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$  表面年龄; 但对于年龄小于 1000Ma 的锆石采用更为精确的  $^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$  表面年龄<sup>[49-56]</sup> (Cherniak D J al, 2000; 吴元保等, 2004; Cawood P A al, 2000, 2001, 2003, 2004; Bruguier O al, 1997; Wysoczanski R J al, 1997)。

## 1.5 主要实物工作量

本文完成的主要实物工作量见表 1.1。

表 1.1 主要工作量统计表

| 序号 | 项 目                      | 工作量  | 备 注                         |
|----|--------------------------|------|-----------------------------|
| 1  | 野外地质调查                   | 45 天 | 两次出行, 共 45 天                |
| 2  | 岩石标本和岩石薄片                | 56 件 | 岩相学观察                       |
| 3  | 碎屑成分统计薄片                 | 17 个 | 碎屑成分统计分析                    |
| 4  | 主量元素分析测试                 | 16 件 | 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室 |
| 5  | 微量元素分析测试                 | 16 件 | 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室 |
| 6  | 锆石 U-Pb 定年 (LA-ICP-MS 法) | 1 件  | 西安地质矿产研究所                   |
| 7  | 锆石 CL 照片                 | 40 张 | 中国地质科学院北京离子探针中心扫描电镜及阴极发光实验室 |

## 第二章 区域地质背景

## 2.1 大地构造背景

东昆仑造山带地处中央造山系西段，位于我国青海省境内青藏高原东北部。北邻柴达木盆地南缘断裂与柴达木盆地相分隔，南邻巴颜喀拉造山带，西部被阿尔金大型走滑断裂所截并与西昆仑造山带相接，东隔共和盆地与西秦岭造山带相隔，东西约长达1500km，处于古亚洲洋构造域和特提斯—喜马拉雅构造域的结合部位，对中国古陆块群构造演化研究具有十分重要的意义（图 2.1）。东昆仑地区自元古代至今，历经了多期次多旋回造山作用，致使区内岩石、地层组成和构造格架十分复杂，区内一系列的区域断裂带将本区分划成几个不同的构造单元。

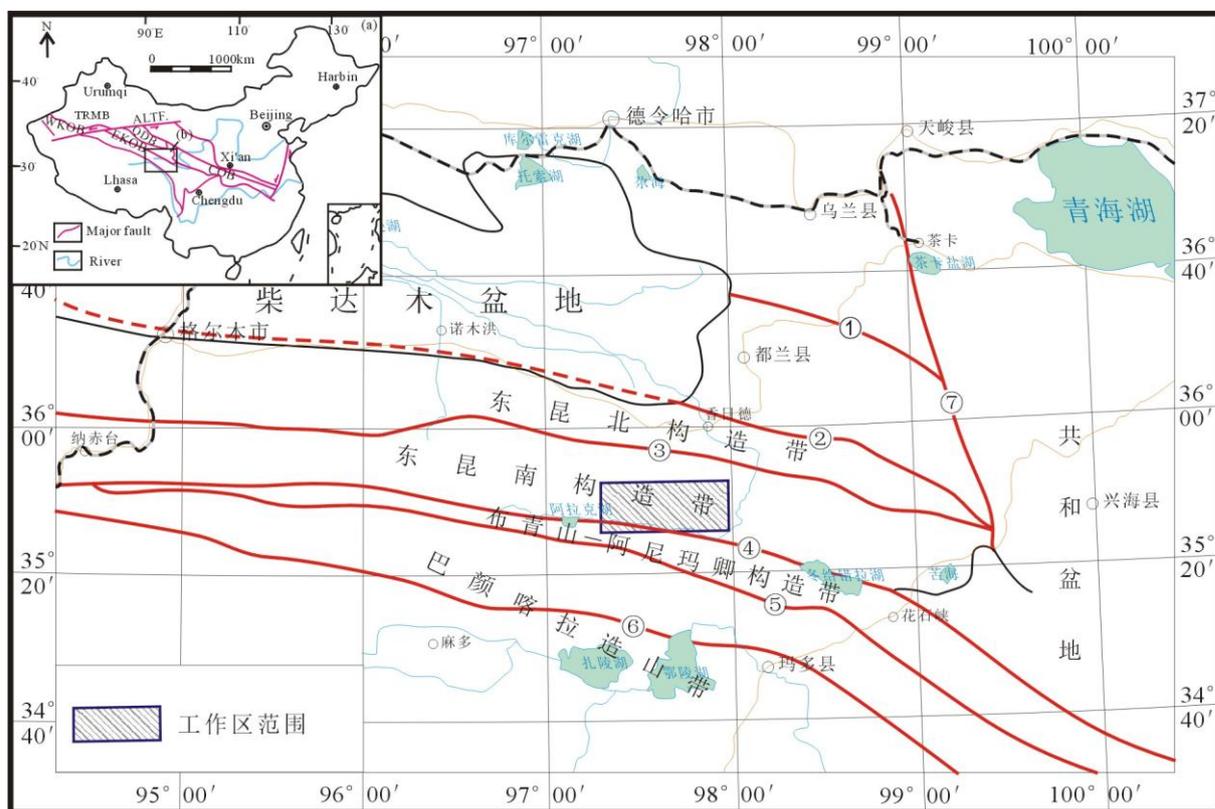


图2.1 东昆仑造山带及邻区构造单元划分简图

COB: 中央造山系; EKOB: 东昆仑造山带; WKOB: 西昆仑造山带; QDB: 柴达木盆地; TRMB: 塔里木盆地; ALTF: 阿尔金左行走滑断裂; ①柴达木盆地南缘断裂; ②柴达木南缘断裂 (格尔木隐伏断裂); ③东昆中断裂; ④东昆南断裂; ⑤布青山南坡断裂; ⑥玛多甘德断裂; ⑦瓦洪山走滑断裂

## 2.2 区域构造及边界断裂特征

前人对东昆仑造山带及其相邻地区曾提出了几种不同的构造单元划分方案<sup>[2,3,12]</sup> (殷鸿福等, 1997; 姜春发等, 2000; 边千韬等, 2001), 其中许志琴等 (2007) 将其由北

向南依次划分为东昆北地块、东昆南地块及巴颜喀拉地块三大构造单元，东昆中缝合带和东昆南缝合带两个代表性缝合带<sup>[62]</sup>。殷鸿福等（2003）把构造混杂岩带作为独立的构造单元，然后将东昆仑造山带东段由北向南依次划分出东昆北单元、东昆中蛇绿混杂岩带、东昆南蛇绿混杂岩带、布青山蛇绿混杂岩带及巴颜喀拉单元等五个构造单元<sup>[41]</sup>。多数学者一致认为的是区内存在两条不同的蛇绿混杂岩带，北边的东昆中蛇绿混杂岩带及南边布青山—阿尼玛卿蛇绿混杂岩带。

本文以广泛收集前人的研究成果为基础，综合其对研究区及其邻区构造单元的划分特点，将东昆仑造山带及邻区划分为五大构造单元：即东昆北构造带、东昆中构造混杂岩带、东昆南构造带、布青山—阿尼玛卿构造混杂岩带和可可西里—巴颜喀拉造山带（表 2.1）。

### （1）东昆北构造带

该构造带北部以柴达木南缘断裂为界与柴达木地块分隔，南部以东昆中蛇绿混杂岩带与东昆南构造带分隔，东抵达瓦洪山断裂，向西延入新疆境内的西昆仑地区，呈近东西向展布，东西约长 800km，南北约宽 40km。该带主要以大量的岩浆岩为特点，花岗岩类以海西-印支期为主，还有少量的加里东期岩浆岩，岩体内可见暗色包体，其地球化学特征显示具有壳-幔混合作用和岩浆弧特征，由于该带中侵入岩广泛分布，故又称为东昆北岩浆岩带。并且以出露大面积前寒武纪中深基底变质岩系（分别为古元古界白沙河岩组（Pt<sub>1b</sub>）和中元古界小庙岩组（Pt<sub>2x</sub>）及少量变质中-酸性火山岩、下三叠统陆源碎屑岩沉积为特征。

### （2）东昆中构造混杂岩带

该带表现出极为复杂的建造和后期改造地貌，结构也极为复杂，是划分东昆北构造带与东昆南构造带的界线。该带大量分布有蛇绿岩岩块，主要由塔妥蛇绿岩、乌妥蛇绿岩和清水泉蛇绿岩等岩块组成，出露于东昆南构造带与东昆北构造带分界处的东昆中缝合带内，呈近东西向延伸，这些蛇绿岩岩块具有多期性，是属于多旋回裂解和拼合作用的产物，在时代上至少经历中元古代、加里东期和海西期等三个阶段，主要特征为 3 个蛇绿混杂岩带分别以构造接触关系夹于元古代和古生代地层中。

### （3）东昆南构造带

本文所研究区域就位于东昆南构造带内。该带位于东昆中蛇绿混杂岩带和布青山—阿尼玛卿构造混杂岩带之间，呈近东西向展布，向东延到瓦洪山断裂一带，向西可以延到阿尔金山南缘断裂。该带出露大量前寒武纪基底变质岩系，包括古元古界白沙河岩组

表 2.1 布青山—阿尼玛卿构造带及其邻区构造单元划分方案对比表（据殷鸿福等（2000）整理）

| 高延林(1988)  | 青海地矿局(1991) | 姜春发(1992) | 古凤宝(1994)         | 潘桂堂等(1995)     | 青海地科所(1996) | 许志琴(1996) | 殷鸿福等(2005)    | 本文         |             |           |                |
|------------|-------------|-----------|-------------------|----------------|-------------|-----------|---------------|------------|-------------|-----------|----------------|
| 早古生代昆北弧后盆地 | 柴达木准地台      | 东昆北坡断隆    | 东昆仑中带(东昆仑中间隆起带)   | 昆北花岗岩弧带        | 东昆仑花岗岩带     | 柴达木板块     | 柴南缘火山岩浆弧带     | 昆北地体       | 柴达木地块       | 东昆北单元     | 东昆北构造带         |
| 昆中缝合带      |             | 昆中断裂      | 东昆中断裂带            | 昆中双型俯冲带        | 东昆中南缘消减杂岩带  | 缝合带       | 昆中缝合带         | 昆仑—阿尼玛卿缝合带 | 东昆中蛇绿杂岩带    | 东昆中构造混杂岩带 |                |
| 华南板块北缘隆起带  |             | 柴达木南缘台褶皱  | 东昆仑南带             | 昆南混杂岩带         |             | 东昆仑陆缘隆起带  | 昆南地体          |            | 东昆南混杂岩带     | 东昆南构造带    |                |
| 昆南缝合带      | 松潘甘孜印支褶皱带   | 阿尼玛卿优地槽带  | 东昆南离合带            | 阿尼玛卿推覆带        | 阿尼玛卿蛇绿岩带    | 华南—东南亚板块  | A型俯冲带         |            | 昆南缝合带       | 布青山蛇绿混杂岩带 | 布青山—阿尼玛卿构造混杂岩带 |
| 印支期弧后盆地    |             | 北巴颜喀拉冒地槽带 | 可可西里—巴颜喀拉印支期地槽褶皱系 | 北巴颜喀拉早—中三叠世褶皱带 |             | 巴颜喀拉洋     | 可可西里—巴颜喀拉弧后盆地 | 巴颜喀拉地体     | 可可西里—巴颜喀拉地块 | 巴颜喀拉单元    | 可可西里—巴颜喀拉造山带   |

( $Pt_1b$ ) 和中元古界小庙岩组 ( $Pt_2x$ )。其中, 白沙河岩组、小庙岩组以斜长角闪岩、石英岩、黑云斜长片麻岩、石英片岩为主; 该构造带南缘出露有下古生界纳赤台岩群 ( $Pz_1N$ ), 下石炭统哈拉郭勒组 ( $C_1hl$ ) 和上石炭统浩特洛哇组 ( $C_2ht$ ), 上二叠统格曲组 ( $P_3g$ ) 及三叠纪一早侏罗世沉积地层: 下三叠统洪水川组 ( $T_1h$ )、中三叠统闹仓坚沟组 ( $T_2n$ )、中三叠统希里可特组 ( $T_2x$ )、上三叠统八宝山组 ( $T_3b$ ) 及下侏罗统羊曲组 ( $J_1y$ )。

#### (4) 布青山—阿尼玛卿构造混杂岩带

布青山—阿尼玛卿构造混杂岩带是分隔东昆南构造带和巴颜喀拉造山带的界线。呈狭长带状东西展布, 尖灭于格尔木南部的纳赤台一带。布青山—阿尼玛卿构造带为蛇绿混杂岩带, 中元古界苦海岩群 ( $Pt_2K$ ) 变质岩系岩块及早古生代和晚古生代两期蛇绿混杂岩块混杂在中一下二叠统马尔争组 ( $P_{1,2}m$ ) 之中; 混杂岩块物质组成复杂, 主要呈形状大小不一的透镜体状。并且在该构造带的布青山地区还出露了树维门科组厚层—块状碳酸盐岩, 呈外来推覆体叠覆于构造混杂带上。

#### (5) 可可西里—巴颜喀拉造山带

可可西里—巴颜喀拉造山带位于布青山—阿尼玛卿构造带以南, 二者以布青山南坡断裂为界线。该造山带主要为巴颜喀拉山群岩屑长石砂岩、粉砂质板岩及板岩组成, 南部多数出露早中三叠世中基性火山岩。岩浆岩为新近纪陆相火山岩以及印支期花岗闪长岩、二长花岗岩。

## 2.3 区域地层

东昆仑造山带物质组成比较复杂, 其岩石地层划分方案以《青海省岩石地层》(1997) 为基础, 结合前人对该区的地质划分成果以及东昆仑地区构造单元的划分, 可将东昆仑地区地层系统划分为古中元古代造山带结晶基底系统 (古元古界白沙河岩组和中元古界小庙岩组)、新元古代—早古生代造山带浅变质褶皱基底系统 (新元古界万宝沟岩群和下古生界纳赤台岩群)、晚古生代—早中生代造山带沉积盆地地层系统和中生代上叠盆地系统 (图 2.2、表 2.2)。

### 1、古元古代—早古生代变质地层

(1) 古元古界白沙河岩组 ( $Pt_1b$ ): 主要分布在科科可特道德乌拉一带, 主体为金水口岩群的重要组成部分, 是区内最古老的地层, 组成中深变质的基底岩系。岩石主要为钙硅酸粒岩、斜长角闪 (片) 岩、含橄榄石大理岩、白云质大理岩、大理岩, 夹长石

石英岩、石英岩、云母石英片岩、黑云（角闪）变粒岩、含石榴石黑云（角闪）斜长片麻岩等。

(2) 中元古界长城系小庙岩组 ( $Pt_2x$ ): 是东昆南构造带的主要变质基底岩系之一, 出露在可可沙、科科可特、哈图沟一带。岩性由北向南分为 4 套变质岩层, 分别为石英岩组合 (长石石英岩、石英岩, 夹黑云母斜长片麻岩), 富铝片麻岩组合 (石榴石黑云母斜长片麻岩及石榴石二云母斜长片麻岩), 长英质片麻岩组合 (黑云母斜长片麻岩, 夹少量斜长角闪片岩及含石榴石黑云斜长片麻岩), 石英岩—长石石英岩组合 (石英岩、长石石英岩, 夹斜长角闪片岩), 属于低角闪岩相变质。陈有炘等 (2011) 通过研究哈拉苏地区小庙岩组, 认为主体形成时代为 (1683Ma~1554Ma) [63]。

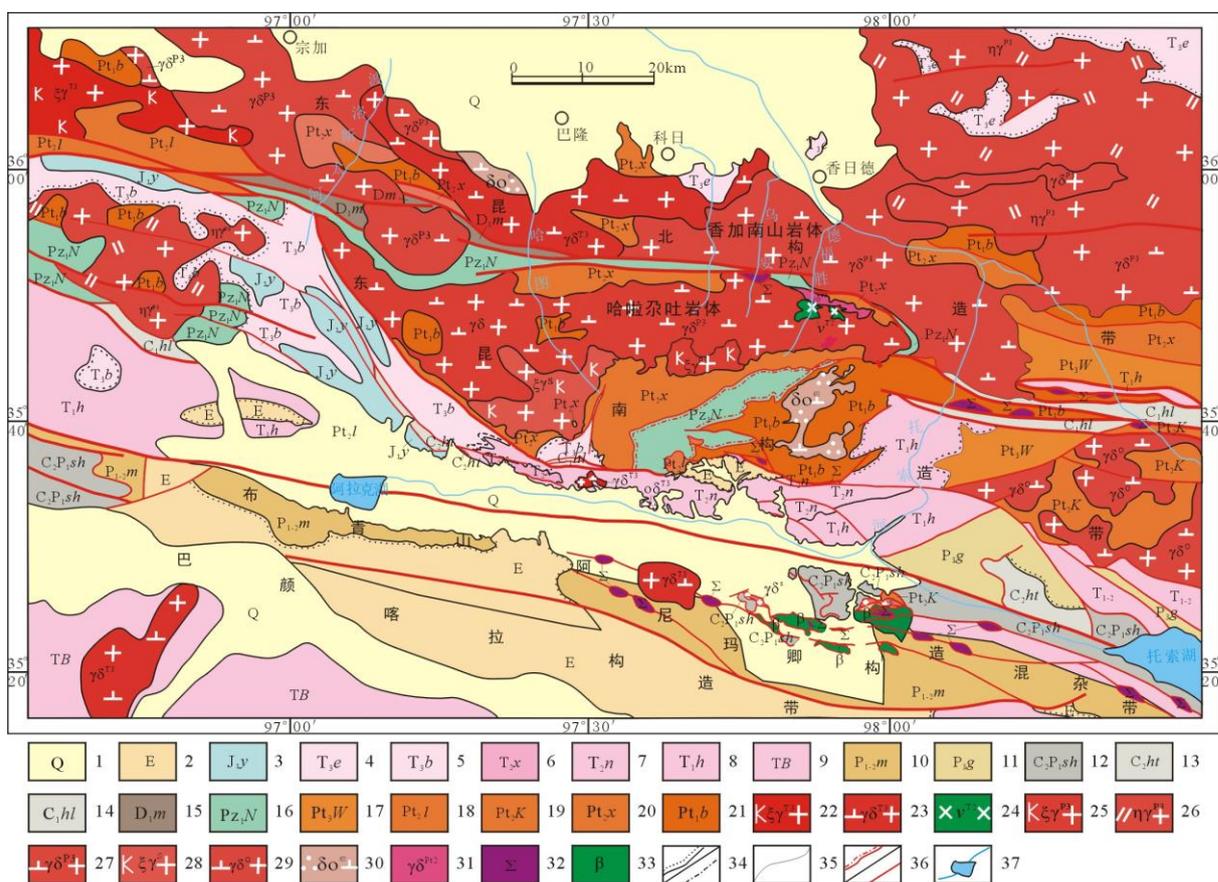


图2.2 东昆仑地区区域地质图

1—第四系; 2—古近系; 3—上侏罗统羊曲组; 4—上三叠统鄂拉山组; 5—上三叠统八宝山组; 6—中三叠统希里可特组; 7—中三叠统闹仓坚沟组; 8—下三叠统洪水川组; 9—三叠系巴颜喀拉群; 10—二叠系—下三叠统马尔争组; 11—上二叠统格曲组; 12—石炭系—二叠系树维门科组; 13—中石炭统浩特洛哇组; 14—下石炭统哈拉郭勒组; 15—泥盆系牦牛山组; 16—下古生界纳赤台岩群; 17—新元古界万宝沟岩群; 18—中元古界狼牙山组; 19—中元古界苦海岩群; 20—中元古界小庙岩组; 21—古元古界白沙河岩组; 22—晚三叠世钾长花岗岩; 23—晚三叠世花岗岩; 24—中三叠世辉长岩; 25—晚二叠世钾长花岗岩; 26—晚二叠世二长花岗岩; 27—晚二叠世花岗闪长岩; 28—志留纪钾长花岗岩; 29—奥陶纪花岗闪长岩; 30—寒武纪石英闪长岩; 31—中元古界花岗闪长岩; 32—超镁铁质岩; 33—辉绿岩脉; 34—角度不整合面/同源侵入体间界线; 35—地质界线; 36—韧性构造界面/脆性断层; 37—

(3) 中元古界蓟县系狼牙山组 ( $Pt_2l$ ): 主要出露于东昆南构造带的阿布塔塔西及查可日塔鄂阿龙北和勒岗希里可特一带, 呈零散状分布, 构造接触于下伏地层小庙岩组及纳赤台岩群之上。主要岩性为灰岩、白云质灰岩、硅质白云岩及少量的变质砂岩、

粉砂岩、硅质岩等。富含叠层石、微古植物化石。

表 2.2 研究区岩石地层划分简表

| 年代地层 |                             |                           | 东昆仑构造地层分区                                  |                           | 布青山—阿尼玛卿构造地层分区         | 巴颜喀拉构造地层分区                 |             |
|------|-----------------------------|---------------------------|--|---------------------------|------------------------|----------------------------|-------------|
|      |                             |                           | 东昆北构造地层分区                                  | 东昆南构造地层分区                 |                        |                            |             |
| 新生界  | 古近系                         |                           | 鄂拉山组 (T <sub>3e</sub> )                    |                           | 沱沱河组 (Et)              |                            |             |
| 中生界  | 侏罗系                         | 下统                        |  |                           | 羊曲组 (J <sub>1y</sub> ) |                            | 巴颜喀拉山群 (TB) |
|      | 三叠系                         | 上统                        | 八宝山组 (T <sub>3b</sub> )                    |                           |                        |                            |             |
|      |                             | 中统                        | 希里可特组 (T <sub>2x</sub> )                   |                           |                        |                            |             |
|      |                             | 下统                        | 洪水川组 (T <sub>1h</sub> )                    |                           |                        |                            |             |
| 上古生界 | 二叠系                         | 上统                        | 格曲组 (P <sub>3g</sub> )                     |                           | 黄羊岭群 (PH)              |                            |             |
|      |                             | 中统                        | 树维门科组 (C <sub>2</sub> P <sub>1-2sh</sub> ) | 马尔争组 (P <sub>1-2m</sub> ) |                        |                            |             |
|      |                             | 下统                        |  |                           |                        |                            |             |
|      | 石炭系                         | 上统                        | 浩特洛哇组 (C <sub>2ht</sub> )                  |                           |                        |                            |             |
|      |                             | 下统                        | 哈拉郭勒组 (C <sub>1hl</sub> )                  |                           |                        |                            |             |
|      | 泥盆系                         | 下统                        | 牦牛山组 (D <sub>1m</sub> )                    |                           | 依吉组 (D <sub>1y</sub> ) |                            |             |
| 下古生界 |                             |                           | 纳赤台岩群 (Pz <sub>1N</sub> )                  |                           |                        |                            |             |
| 元古界  |                             | 冰沟群 (Pt <sub>3B</sub> )   | 丘吉东沟组 (Pt <sub>3qj</sub> )                 | 万保沟岩群 (Pt <sub>3W</sub> ) |                        | 宁多岩群 (Pt <sub>2-3N</sub> ) |             |
|      |                             |                           | 狼牙山组 (Pt <sub>2l</sub> )                   | 苦海岩群 (Pt <sub>2K</sub> )  |                        |                            |             |
|      | 金水口岩群 (Pt <sub>1-2J</sub> ) | 小庙岩组 (Pt <sub>2x</sub> )  |  |                           |                        |                            |             |
|      |                             | 白沙河岩组 (Pt <sub>1b</sub> ) |  |                           |                        |                            |             |

(4) 新元古界万保沟岩群 (Pt<sub>3W</sub>): 万保沟岩群主要出露于东昆仑造山带东段南坡, 主体为一套浅变质的碎屑岩、火山岩和碳酸盐岩组合, 下部主要由浅变质的碎屑岩和火山岩组成, 中部主要为火山岩, 上部主要为碳酸盐岩夹碎屑岩, 上下界线不明显。

(5) 下古生界纳赤台岩群 ( $Pz_1N$ ): 该岩群主要分布在东昆仑造山带的科科可特—达瓦特沟地区, 主体为一套早古生代中—浅变质岩系, 变质程度为高绿片岩相—低角闪岩相, 由南向北根据不同的沉积特征和岩石组合特征划分为石英片岩—绢云石英片岩夹绿片岩 (原岩是基性火山岩) 以及黑云石英片岩—石榴石二云片岩两个变质岩组合。

## 2、晚古生代沉积地层

(1) 牦牛山组 ( $D_1m$ ): 发育在东昆北构造带以及柴达木盆地附近, 下部为砾岩及砂砾岩段, 上部为火山岩以及火山碎屑岩。岩层不整合覆盖于下古生界奥陶系—志留系之上。前人研究获得格尔木一带牦牛山组底部流纹岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $406.1 \pm 2.9\text{Ma}$ , 主要形成时代为早泥盆世<sup>[64]</sup> (张耀玲等, 2010)。

(2) 哈拉郭勒组 ( $C_1hl$ ): 主要出露在东昆仑造山带的希里克特—和勒冈希里克特地区。为浅海相碎屑岩、碳酸盐岩沉积地层。岩层自下而上分为三个岩性段: 下段岩性主要为灰色—深灰色中薄层状中砂岩、细砂岩夹薄层状灰岩; 中段岩性主要为灰绿色薄层状钙质石英细砂岩、钙质粉砂岩夹酸性火山岩; 上段主要岩性为深灰色中薄层状生物碎屑灰岩夹薄层状粉砂质泥岩。

(3) 浩特洛哇组 ( $C_2ht$ ): 主要出露于东昆南构造带的瑙木浑牙马托以及哈嘎诺尔沟一带。岩石组合复杂多样, 劈理发育, 含极少量的古生物化石。自下而上划分为三个岩性段: 下段 (灰岩段) 主要岩性为灰黑色中层—中厚层状灰岩夹钙质石英砂岩及钙质粉砂岩; 中段 (砂岩段) 主要岩性为灰色薄层—中层状粉砂岩和砂岩; 上段主要岩性为深灰色—灰黑色薄层状泥质粉砂岩、粉砂质泥岩夹粉砂岩。

(4) 树维门科组 ( $C_2P_{1-2}sh$ ): 主要出露于东昆仑南缘布青山—阿尼玛卿构造混杂岩带, 为灰白色厚—巨厚层状碳酸盐岩, 代表一套稳定碳酸盐台地相沉积, 其形成的主体时代为晚石炭世—早中二叠世。

(5) 马尔争组 ( $P_{1-2}m$ ): 主体发育在东昆仑断裂南侧的阿尼玛卿地层分区。经历了不同程度的构造置换和变形、变质, 为复理石沉积的长石石英粗砂岩、中粗粒杂砂岩、岩屑砂岩以及粉砂质等, 发育大量的连续以及不连续状的鲍马序列, 整套岩石中夹有大量含生物碎屑灰岩。

## 3、晚古生代晚期—早中生代沉积地层

(1) 格曲组 ( $P_3g$ ): 主要分布于东昆南构造带的花石峡棉草湾、哈拉山、它瓜马日灯一带。岩石组合复杂多样, 由老到新可依次分为两个岩性段: 下段主要岩性为黄褐色巨厚层状复成分砾岩夹厚层块状复成分砾岩; 上段岩性主要为灰绿色中薄层状杂砂岩

及灰绿色—深灰色中薄层状粉砂质泥岩互层，局部夹有中厚层状复成分砾岩。该套地层角度不整合于下覆不同时代地层之上。

(2) 洪水川组 ( $T_1h$ ): 研究区下三叠统洪水川组大面积出露于托索河和可可沙之间的区域；南侧多数地带被第四系覆盖，仅在托索河一带与下伏上二叠统格曲组呈断层接触关系，向西与中三叠统闹仓坚沟组呈整合接触或微角度不整合接触关系，向北与古元古界白沙河岩组或早古生代可可沙岩体呈断层接触关系，部分保留角度不整合接触关系，北侧局部与下石炭统哈拉郭勒组呈断层接触关系，向东与新元古代万保沟群呈断层接触关系；主体为一套由碎屑岩、灰岩组成的弧前盆地沉积体系<sup>[66]</sup>（裴先治等，2014）。

(3) 闹仓坚沟组 ( $T_2n$ ): 该套地层主要分布在东昆仑造山带东段南坡，与周围地层多呈断层接触关系，与上覆地层中三叠统希里可特组和上三叠统八宝山组分别呈微角度不整合和角度不整合关系接触。根据沉积特征以及岩石组合特征将其由下到上划分为两个亚组，共 8 段，其中下亚组（一段—四段）主体为碎屑岩夹少量碳酸盐岩；上亚组（五段—八段）主体为碳酸盐岩夹少量碎屑岩。吴芳等（2010）通过研究分布在秀沟一带的闹仓坚沟组下部的火山岩，获得其锆石 U-Pb 年龄为  $243.5 \pm 1.7\text{Ma}$ ，结合前人的古生物化石资料综合分析认为闹仓坚沟组的形成时代为中三叠世<sup>[65]</sup>。

(4) 希里可特组 ( $T_2x$ ): 主要出露于希里克特—阿德其次日郭勒一带，分布比较局限。其底部以微角度不整合面与下伏中三叠统闹仓坚沟组相接触，其顶部以不整合面与上三叠统八宝山组接触。是一套海陆交互的沉积地层，依据其沉积特征和岩石组合特征由老到新分为上下两个岩性段：下段（粗碎屑岩段）主要岩性为灰绿色厚层状砾岩和含砾粗砂岩夹紫红色粉砂质泥岩、泥岩等；上段（细碎屑岩段）主要岩性为灰色中薄层—中厚层状细砂岩、粉砂岩、钙质砂岩、石英粉砂岩夹含砾砂岩，局部夹有酸性火山岩。它代表了东昆仑南缘地区沉积盆地由海相逐渐向陆相过渡。

(5) 八宝山组 ( $T_3b$ ): 分布在东昆仑南缘地区，主要呈角度不整合接触于下覆地层中三叠统闹仓坚沟组及中三叠统希里可特组之上，局部地区呈断层接触关系。上三叠统八宝山组为一套陆相碎屑岩组合，主要岩性由下至上主要为含砾粗粒岩屑长石石英砂岩、灰黑色薄层状泥质粉砂岩和石英砂岩、灰白色细砾岩与含砾粗粒岩屑长石石英砂岩—细砂岩组合，局部夹有陆相浅灰色或紫红色流纹斑岩等酸性火山岩。

(6) 鄂拉山组 ( $T_3e$ ): 主要分布于东昆北构造带，主体为一套火山岩夹碎屑岩。下部岩性主要为中基性火山岩，局部夹碎屑岩；上部岩性为中性火山岩及中酸性火山岩。该套地层与下覆不同时代地层呈角度不整合接触。

(7) 羊曲组 ( $J_{1y}$ ): 主要分布于东昆南构造带, 出露于阿拉克湖西北侧的瑙木浑牙马拓和哈嘎诺尔沟口地区, 北侧与上石炭统浩特洛哇组呈断层接触关系, 为一套陆相碎屑岩沉积组合。根据沉积特征和岩石组合特征自下而上将可划分为三个岩段: 下段主要岩性为灰色厚层状砾岩、砂砾岩夹粉砂岩; 中段主要岩性为灰绿色—黄绿色薄层状粉砂岩、细砂岩及泥质粉砂岩互层; 上段主要岩性为厚层块状含砾砂岩、细砂岩与深灰色细砂岩、粉砂岩, 组成一套由粗变细的韵律层, 含有大量植物化石碎片。

#### 4、新生代沉积地层

(1) 沱沱河组 ( $E_t$ ): 主要在东昆仑南缘查可日塔—哥日卓可特—查可日塔鄂阿龙一带出露。下段主要岩性为红色块状砾岩, 砾石主要包括为灰岩、砂岩等; 上段主要岩性为红色含碎屑粘土岩, 与下覆底层均呈角度不整合接触关系。

(2) 第四系: 主要是湖泊沉积相、冲积—洪积相和现代河流冲积相松散堆积物。

## 2.4 区域岩浆岩

### 2.4.1 侵入岩

研究区出露多期次、多类型、大规模岩浆岩, 主要为前寒武纪、早古生代、晚古生代—早中生代岩浆岩。岩石类型主要分为镁铁质—超镁铁质岩、二长岩类、花岗质片麻岩类、闪长岩类、花岗岩类等。

#### (1) 前寒武纪花岗质片麻岩类

以红水川地区和巴隆地区出露的花岗质片麻岩为代表。其中, 红水川地区花岗质片麻岩体主要分布在伊和哈让贵与敦德哈让贵一带, 南北两侧分别与中元古界小庙岩组、下古生界纳赤台岩群、上三叠统八宝山组呈断层接触, 或角度不整合接触于中三叠统闹仓坚沟组。巴隆地区花岗质片麻岩体主要分布在哈图沟地区, 变形比较强烈, 发育条带状、眼球状以及片麻状构造。裴先治等(2014)分别获得红水川地区和巴隆地区花岗质片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $1124 \pm 45\text{Ma}$  和  $854 \pm 11\text{Ma}$ , 形成时代分别为中元古代晚期和新元古代早期<sup>[66]</sup>。

#### (2) 早古生代侵入岩

##### 可可沙石英闪长岩体

主要呈不规则形态出露在东昆南构造带可可沙地区, 岩体近南北向展布, 主要侵位于古元古界白沙河岩组中。岩石类型主要分为石英闪长岩、花岗闪长岩、中粒似斑状二长花岗岩、钾长花岗岩, 该岩体主体为石英闪长岩, 发育片麻状构造。张亚峰等(2010)

通过同位素年代学研究,获得石英闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $515.2 \pm 4.4\text{Ma}$ , 确定其形成时代为中寒武世<sup>[67]</sup>。

#### 佬格么火儿中基性侵入岩

佬格么火儿中基性侵入岩在平面上呈等轴状或椭圆状出露在可可沙地区,主要岩性为深灰色中细粒辉长岩及中细粒辉长闪长岩,与围岩均呈侵入接触关系。裴先治等(2014)通过同位素年代学研究,获得其中的辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $509 \pm 7\text{Ma}$ , 认为其形成时代为中寒武世<sup>[66]</sup>。

#### 亿可哈拉尔花岗闪长岩

主要出露在得力斯坦和白日切特等地区,岩体呈长轴状近 NW—SE 展布,作为布青山构造混杂岩的重要组成部分夹持在其中。与围岩(上二叠统格曲组和中元古界苦海岩群)多呈断层接触关系,主要岩性为灰白色细粒花岗闪长岩和似斑状中粗粒花岗闪长岩。裴先治等(2014)通过研究得力斯坦沟的花岗闪长岩,获得其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $437.5 \pm 2.3\text{Ma}$ , 确定其形成时代为早志留世<sup>[66]</sup>。

#### 白日切特花岗闪长岩

在平面图上呈 NWW—SEE 向分布在布青山地区白日切特沟,南北两侧和中酸性火山岩、中一下二叠统马尔争组浊均呈断层接触关系,树维门科组灰岩呈逆冲推覆状覆盖在其上。主要岩性为浅灰色中—粗粒花岗闪长岩,半自形粒状构造,块状构造及较弱的片麻状构造。前人通过研究获得该岩体中花岗闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $441.1 \pm 3.6\text{Ma}$ , 形成时代为早寒武世<sup>[66]</sup> (裴先治等, 2014)。

### (3) 晚二叠世—早三叠世侵入岩体

晚二叠世—早三叠世的代表性侵入岩体有哈拉尕吐花岗岩体、香加南山花岗岩体等。

#### 哈拉尕吐花岗岩

分布于香日德镇南西方向东昆仑造山带东段哈拉尕吐—哈图地区的哈拉尕吐花岗岩体是分布最大的侵入岩体之一,岩体呈不规则状近 EW 向展布。主要岩性为花岗闪长岩以及少量中粗粒二长花岗岩、似斑状二长花岗岩与钾长花岗岩。陈国超(2014)获得其花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $254.9 \pm 1.5\text{Ma}$ , 暗色闪长质包体年龄为  $252.5 \pm 5.1\text{Ma}$ , 确定其形成时代主体为晚二叠世,属于典型的陆缘弧岩浆岩<sup>[68]</sup>。

#### 香加南山花岗岩

该岩体出露于东昆仑造山带可可沙—香日德一带、千瓦大桥以北,香日德以南,出

露规模大于哈拉尕吐花岗岩体，长轴近 EW 向展布，岩石类型主要为花岗闪长岩、二长花岗岩和似斑状二长花岗岩等。陈国超（2014）获得香加南山岩体花岗闪长岩及暗色闪长质包体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为  $251.0 \pm 1.9\text{Ma}$  和  $252.8 \pm 3.0\text{Ma}$ ，二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄  $246.4 \pm 3.9\text{Ma}$ ，形成时代为早三叠世早期<sup>[68]</sup>。

#### （4）中三叠世晚期—晚三叠世早期花岗岩体

##### 和勒冈希里克特花岗闪长岩

该岩体呈不规则状近东西向分布，主要出露于和勒冈希里克特—伊和哈让贵一带。主要岩石类型为花岗闪长岩，发育大量的暗色闪长质微粒包体。陈国超（2014）获得其花岗闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $225 \pm 5\text{Ma}$ ，形成时代为晚三叠世早期<sup>[68]</sup>。

##### 哥日卓托闪长岩

哥日卓托闪长岩体呈南北向的长条状分布于布青山构造混杂岩，出露面积较小，主要岩性为灰色细粒闪长岩。其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $225.8 \pm 1.5\text{Ma}$ ，形成时代为晚三叠世早期<sup>[69]</sup>（李佐臣等，2013）。

##### 科科鄂阿龙石英闪长岩

该岩体主要分布在东昆仑南缘的洪水川北侧科科鄂阿龙地区，岩体侵入于中三叠世闹仓坚沟组钙质粉砂岩夹灰岩段，科科鄂阿龙岩体岩性主要为石英闪长岩。陈国超（2014）获得科科鄂阿龙岩体形成于  $218.3 \pm 1.4\text{Ma}$ ，为晚三叠世<sup>[68]</sup>。

### 2.4.2 蛇绿岩和镁铁—超镁铁质岩

东昆仑造山带是一个具有多期次多旋回大陆复合造山带，发育多条不同时代的蛇绿岩混杂岩带。目前研究较为成熟的有东昆中蛇绿岩带和布青山—阿尼玛卿蛇绿岩带<sup>[1,11,62,70-75]</sup>（姜春发等，1992；许志琴等，2007；朱云海等，2002；边千韬等，1999；刘战庆等，2011a、2011b、2011c；刘战庆，2012；李瑞保等，2014）。其中，东昆中蛇绿岩带基本与东昆中断裂带重合。

#### （1）早古生代可可沙—科科可特—达瓦特超镁铁岩—镁铁质岩带

近年来长安大学裴先治研究团队在东昆仑造山带东段南坡科科可特地区新发现了科科可特镁铁质—超镁铁质岩。科科可特镁铁质—超镁铁质岩带主要见于东昆仑造山带东段南坡可可沙—科科可特—敦得沙尔郭勒沟沟脑—达瓦特一带，以SWW向构造岩片形式分布于白沙河岩组南侧，出露宽度约200m；岩石类型主要有蛇纹岩、辉橄岩、橄辉岩和辉长岩。前人通过研究获得辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $501 \pm 7\text{Ma}$ ，具

E-MORB地球化学特征，辉长岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为 $509.2 \pm 6.8\text{Ma}$ ，地球化学特征显示其具T-MORB特征，形成时代主体为中晚寒武世<sup>[76,77]</sup>（Li R B et al, 2013；冯建赟等，2010）。

### （2）东昆中蛇绿岩带

该带主要由3条近东西向延伸断续出露的蛇绿混杂岩带组成，由西往东依次为乌妥、清水泉和塔妥蛇绿混杂岩带。

乌妥蛇绿岩呈EW向出露于都兰县香日德镇乌妥一带，由许多构造岩片形式集合而成。岩石类型主要为蛇纹岩和变基性火山岩。通过研究获得辉长岩LA-ICP-MS锆石U-Pb为 $521.9 \pm 3.2\text{Ma}$ ，形成于早古生代，属SSZ型蛇绿岩，代表弧后有限小洋盆环境（裴先治，未刊资料）。清水泉蛇绿岩从都兰县香加乡加鲁河东岸清水泉地区到塔妥煤矿一直有断续分布，近东西向狭窄带状展布，长度约20km，南北宽约2-3km，由上百个蛇绿岩岩片组成。岩石类型主要有变质橄榄岩、镁铁—超镁铁质堆晶岩、辉长岩、辉绿岩及玄武岩等。清水泉蛇绿岩组合中的辉长岩单颗粒锆石U-Pb年龄为 $518 \pm 3\text{Ma}$ <sup>[78]</sup>（Yang et al., 1996）。陆松年（2002）获得其中辉长岩的TIMS法锆石U-Pb年龄为 $522.3 \pm 4.1\text{Ma}$ <sup>[110]</sup>；表明清水泉蛇绿岩的形成时代为早寒武世。岩石地球化学特征显示其为不成熟的小洋盆<sup>[13]</sup>（朱云海等，1999）。塔妥蛇绿岩带主要见于塔妥煤矿及沟里乡等地，呈东西向分布，出露宽度较窄，有许多蛇绿岩构造岩片集合而成。岩石类型主要有蛇纹石化橄榄岩、蛇纹岩、玄武岩等。岩石地球化学特征显示其为成熟洋盆体系的产物<sup>[13]</sup>（朱云海等，1999）。

### （3）布青山—阿尼玛卿蛇绿岩带

该带主要由早古生代和晚古生代两套蛇绿岩组成，其中哈尔郭勒蛇绿岩和得利斯坦蛇绿岩岩石组合较为完整。哈尔郭勒蛇绿岩出露在布青山地区和哈尔郭勒地区，主要分为东、西两段，西段蛇绿岩的主要岩性为蛇纹岩、辉绿岩、玄武岩和黑色硅质泥岩，东段蛇绿岩主要岩性为蛇纹石化橄榄岩、蛇纹岩、玄武岩、变辉绿岩以及变辉长岩，刘战庆（2011）获得哈尔郭勒东段蛇绿岩中辉长岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为 $332.8 \pm 3.1\text{Ma}$ <sup>[71]</sup>。得力斯坦蛇绿岩出露于布青山地区得力斯坦沟北部，岩石组合较完整，为一套典型的蛇绿岩，岩石类型包括蛇纹岩、二辉橄榄岩、方辉橄榄岩、辉长岩、变玄武岩、硅泥质岩。刘战庆（2011）获得其中辉长岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为 $516.4 \pm 6.3\text{Ma}$ ，表明得力斯坦蛇绿岩形成时代为寒武纪第二世；其地球化学特征显示N-MORB特征，代表了得力斯坦蛇绿岩是寒武纪第二世成熟洋壳的残余<sup>[71]</sup>。

### 2.4.3 火山岩

主要发育在东昆仑地区下古生界纳赤台岩群、部分晚古生代—三叠纪地层中以及布青山地区构造混杂岩带中。

#### (1) 早古生代白日切特中酸性火山岩

主要呈不规则北西—南东向长轴状分布在布青山白日切特沟南侧，北侧为浅灰绿-灰色块状中细粒-中粒片麻状花岗闪长岩，南侧为黑色-墨绿块状中粒辉长闪长岩、辉长岩，局部夹墨绿色-暗绿块状辉绿岩脉及辉石岩。白日切特中酸性火山岩岩石地球化学特征显示，属钙碱性系列，具有岛弧环境火山岩性质。刘战庆等（2011）获得其中流纹斑岩锆石 U-Pb 年龄为 438.3Ma (MSWD=2.0)，基本限定了白日切特流纹斑岩结晶年龄，形成时代为早志留世初期。在时代上与北侧岛弧型花岗闪长岩相一致<sup>[73]</sup>。

#### (2) 海山玄武岩组合

布青山构造混杂岩带主要在得力斯坦沟南侧、哥日卓托南侧、哈尔郭勒南侧等地分布，主要岩石类型为块状玄武岩、枕状玄武岩、角砾状玄武岩，且与灰岩共生的火山岩组合，平面上多呈长条状、透镜状，沿 NW—SE 向展布。

布青山地区哈尔郭勒沟南侧出露的玄武岩具有质密隐晶质结构，枕状构造，气孔-杏仁状构造，块状及角砾状构造等，杨杰等（2014）研究认为哈尔郭勒海山玄武岩地球化学特征显示该玄武岩可分为亚碱性玄武岩和碱性玄武岩两大类，其中亚碱性玄武岩显示出正常大洋中脊玄武岩的地球化学特征，即 N-MORB 型；碱性玄武岩表现出洋岛玄武岩的地球化学特征，即 OIB 型；综合上述地球化学特征，可以认为布青山哈尔郭勒玄武岩是洋中脊（MORB）和洋岛（OIB）环境下的综合产物。杨杰（2014）测得哈尔郭勒海山玄武岩锆石 U-Pb 年龄为  $340.8 \pm 2.8\text{Ma}$ ，形成时代为早石炭世<sup>[100]</sup>。

得力斯坦南段出露的玄武岩具有隐晶质结构，枕状、气孔-杏仁状、块状及角砾状构造等。刘战庆（2011）研究认为得力斯坦玄武岩的地球化学显示具 N-MORB 型特征，表明岩浆来自于亏损软流圈地幔<sup>[71]</sup>。边千韬等（1999）获得该玄武岩的普通 Pb 等时线年龄为  $310 \pm 150\text{Ma}$ ，形成时代很可能形成于晚石炭纪。

哥日卓托地区出露的玄武岩具有隐晶质结构，气孔-杏仁状、枕状、块状以及角砾状构造等。李瑞保等（2014）认为哥日卓托玄武岩是大洋板块内部与洋中脊位置相对较近的洋岛岩浆作用的产物（OIB 型），并非洋中脊扩张过程中的产物，也与洋壳俯冲形成的岛弧或陆缘弧的特征相区别。边千韬等（1999）获得布青山地区洋岛玄武岩的 Rb-Sr 等时线年龄为  $340.3 \pm 11.6\text{Ma}$ ，形成时代为早石炭世<sup>[11]</sup>。

### 第三章 东昆仑东段南坡中三叠统闹仓坚沟组地质特征

东昆仑地区三叠系地层发育较好，出露面积广。本文研究对象主要为出露在东昆仑东段南坡希里可特—科科可特一带的中三叠统闹仓坚沟组沉积岩，平面上整体呈东西向带状分布，自东向西地层依次为由老到新（图 3.1）。本文依据研究区闹仓坚沟组的野外实测剖面及大量的样品测试数据，将从沉积特征、岩石组合特征、岩相学特征、地球化学特征及 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 同位素年龄五个方面展开研究。

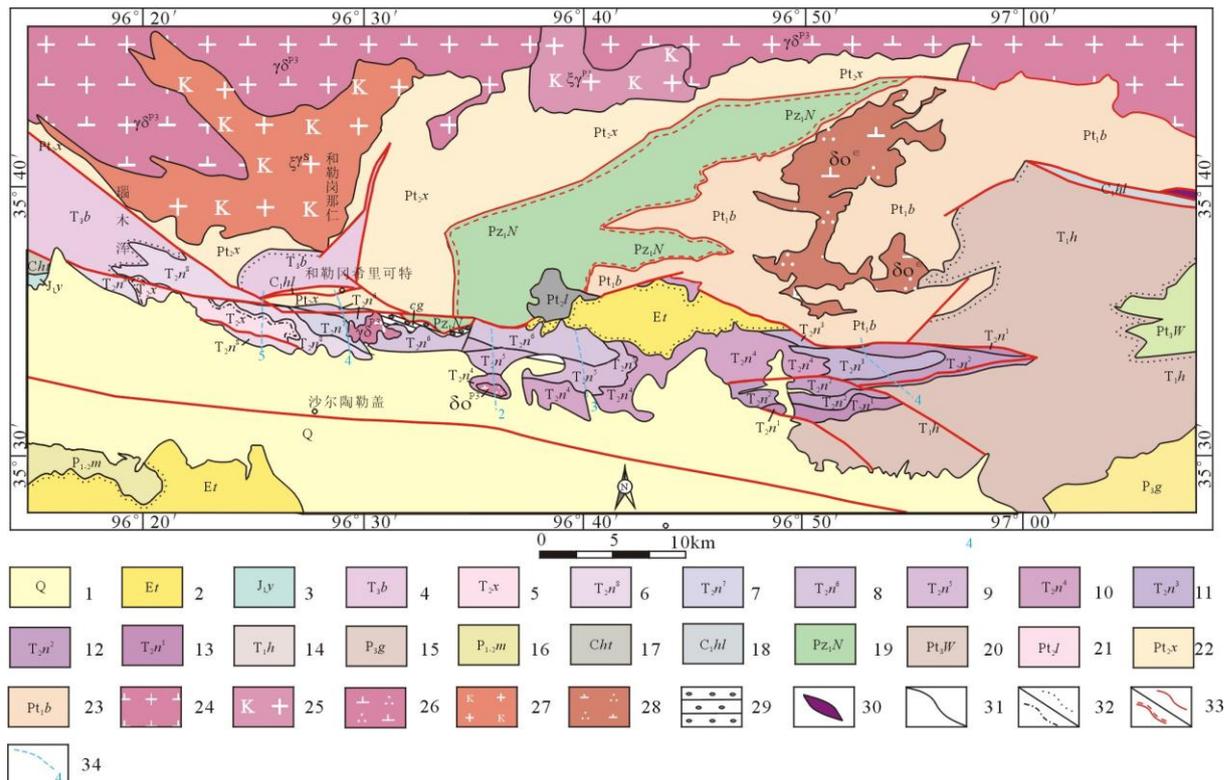


图 3.1 东昆仑南缘红水川地区区域地质略图

1—第四系；2—古近系；3—上侏罗统羊曲组；4—上三叠统八宝山组；5—中三叠统希里可特组；6—中三叠统闹仓坚沟组八段；7—中三叠统闹仓坚沟组七段；8—中三叠统闹仓坚沟组六段；9—中三叠统闹仓坚沟组五段；10—中三叠统闹仓坚沟组四段；11—中三叠统闹仓坚沟组三段；12—中三叠统闹仓坚沟组二段；13—中三叠统闹仓坚沟组一段；14—下三叠统洪水川组；15—上二叠统格曲组；16—中一下二叠统马尔争组；17—上石炭统浩特洛哇组；18—下石炭统哈拉郭勒组；19—下古生界纳赤台岩群；20—新元古界万宝沟岩群；21—中元古界狼牙山组；22—中元古界小庙岩组；23—古元古界白沙河岩组；24—晚三叠世花岗闪长岩；25—晚三叠世钾长花岗岩；26—晚三叠世石英闪长岩；27—志留纪钾长花岗岩；28—寒武纪石英闪长岩；29—砾岩；30—超镁铁质岩；31—地质界线；32—角度不整合界线/微角度不整合界线；33—韧性断裂带/脆性断层；34—实测剖面及编号

### 3.1 地层沿革及划分

#### 3.1.1 地层沿革及时代归属

闹仓坚沟组为青海省第一区测队于 1976 年创名在玛多县石峡乡闹仓坚沟，其原意是指“代表中三叠世安尼期沉积岩，由钙质砂岩、砂岩、粉砂岩夹火山岩等组成”。青海省地矿局于 1997 年将其修订为：指整合于洪水川组碎屑岩之上，平行不整合或整合与希里可特组碎屑岩组合之下的一套碳酸盐岩、碎屑岩，局部夹火山岩的地层序列。底以碳酸盐岩的始现与洪水川组分界，顶以平行不整合面或碳酸盐岩的消失与希里可特组分隔，含双壳类及腕足类化石。

综合前人研究成果，东昆仑南缘闹仓坚沟组地层时代为中三叠世，证据如下：（1）古生物资料：闹仓坚沟组富含中三叠世安尼期菊石动物群，在玛多县石峡乡及其附近产菊石 *Necomedites* sp., *N.osmani*, *Sturia* sp., *Hollandites* sp., *Paradanubites kusa*, *Parasageceras* sp., *Procladiscites cf.crass*, *Ussurites xinghaiensis*, *U. cf.kingi*, *U. robusfus*, *Berichites cf.affinis*, *Psilosturia mongolica*, *Leiophyllites pitamaca*。都兰县宗加乡产有腹足类：*Neritaria orbiculata Stoppani*, *Loxonema fritschi Picard*, *Coelostylina irritate Kittl*（王慧基，1986）<sup>[79]</sup>，从这些已知种属可以推断闹仓坚沟组主体形成时代为中三叠世。（2）角度不整合面：在希里可特—科科可特一带，闹仓坚沟组作为下覆地层与中三叠统希里可特组呈微角度不整合接触，与上三叠统八宝山组呈角度不整合接触。（3）位于东昆仑东段南坡的科科鄂阿龙石英闪长岩体侵入闹仓坚沟组第四岩性段中，岩体形成年龄为  $218.3 \pm 1.4\text{Ma}$ ，为晚三叠世<sup>[68]</sup>（陈国超，2014），说明闹仓坚沟组沉积地层形成时间早于晚三叠世。综上所述，东昆仑东段南坡闹仓坚沟组地层时代为中三叠世（ $T_2$ ）。

#### 3.1.2 闹仓坚沟组地层划分

根据沉积地层的岩石组合以及沉积环境等各方面的差异，本次工作将研究区内中三叠统闹仓坚沟组自东向西、由老到新划分为上下两个亚组，共 8 个段。下亚组包括第一至第四段，上亚组为第五至第八段（图 3.2）：

第一段（ $T_2n^1$ ）：主要由下部的薄层状灰岩，泥灰岩、泥质条带灰岩和上部的中—中厚层状灰岩夹中层状生物碎屑灰岩组成，局部偶夹厚度小于 10m 的中厚层状中粗粒长石石英砂岩。厚度大于 677m。

第二段（ $T_2n^2$ ）：主体岩性为浅灰绿色薄层状长石石英砂岩、岩屑石英砂岩和灰色极薄—薄层状钙质粉砂岩。厚度为 740—1388m。

第三章 东昆仑东段南坡中三叠统闹仓坚沟组地质特征

| 年代地层 | 岩层    | 原分  | 分    | 分                             | 结构构造柱状图 | 岩石组合特征 | 典型面                             | 环境解释  |                          |                         |                    |
|------|-------|-----|------|-------------------------------|---------|--------|---------------------------------|---|--------------------------|-------------------------|--------------------|
| 界    | 系     | 统   | 组    | 段                             | 层号      | 厚度 (m) |                                 |   |                          |                         |                    |
| 中三叠统 | 希里可特组 | 闹仓组 | 八段   | T <sub>3</sub> x <sup>4</sup> | 47      | 33     | 120.0                           | 杂色厚层块状古城分砾岩夹紫红色中粗粒岩屑石英砂岩<br>微角度不整合接触                | 希里可特                     | 主体为浅海碳酸盐岩台地沉积, 上部发育陆棚沉积 |                    |
|      |       |     |      | 46                            | 42      | 32     | 126.2                           | 浅灰色及薄层状灰岩与钙质、砂质页岩互层                                 |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 41                            | 38      | 31     | 193.2                           | 灰-深灰色薄层状灰岩夹灰色薄层状泥灰岩                                 |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 37                            | 28      | 30     | 172.8                           | 深灰色薄层状灰岩夹灰色薄层状条带状灰岩, 偶夹少量砾状灰岩                       |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 27                            | 23      | 29     | 114.7                           | 灰-深灰色极薄层状灰岩   |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 26                            | 23      | 28     | 147.9                           | 灰-深灰色薄层状灰岩夹浅灰色中层状角砾状灰岩                              |                          |                         |                    |
|      |       |     | 七段   | T <sub>3</sub> n <sup>1</sup> | 65      | 63     | 27                              | 178.7   | 浅黄绿、浅绿色薄层状钙质粉砂岩          | 和勒冈希里可特                 | 浅海混积陆棚沉积体系         |
|      |       |     |      | 62                            | 58      | 26     | 280.0                           | 灰-灰绿色中薄层状中细粒长石石英砂岩夹砂卡岩化钙质粉砂岩                        |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 57                            | 53      | 25     | 121.3                           | 灰-浅灰色中薄层状中细粒长石石英砂岩夹少量灰色薄层状灰岩                        |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 52                            | 40      | 24     | 335.6                           | 浅灰-浅灰绿色薄层状石英粉砂岩, 中厚层状中粗粒长石石英砂岩, 夹少量砾岩, 局部夹有少量流纹质凝灰岩 |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 2                             | 23      | 23     | 116.1                           | 浅肉红色厚层块状灰岩, 局部夹有少量薄层状灰岩                             |                          |                         |                    |
|      |       |     | 六段   | T <sub>3</sub> n <sup>2</sup> | 3-5     | 22     | 97.0                            | 灰-浅灰白色厚层块状灰岩, 局部含有生物碎屑                              | 查卡日塔鄂阿龙                  | 碳酸盐岩开阔台地和台地边缘斜坡沉积       |                    |
|      |       |     |      | 6-7                           | 21      | 71.0   | 灰紫红色厚层块状灰岩, 部分含有生物化石            |   |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 8-15                          | 20      | 247.5  | 灰-浅灰色中薄层状中粒钙质长石石英砂岩, 夹有少量细砾岩层   |   |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 16                            | 19      | 238.4  | 灰-灰黑色中厚-厚层状生物碎屑灰岩, 夹有少量深灰色薄层状灰岩 |   |                          |                         |                    |
|      |       |     | 五段   | T <sub>3</sub> n <sup>3</sup> | 7       | 10     | 18                              | 418.7   | 灰-深灰色薄层状灰岩夹灰黑色薄层状灰岩      | 科科鄂阿龙                   | 浅海碳酸盐陆棚沉积和台地前缘斜坡沉积 |
|      |       |     |      | 11                            | 12      | 17     | 152.1                           | 灰-灰黑色薄层状灰岩夹薄层状钙质泥岩                                  |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 13                            | 14      | 16     | 123.2                           | 深灰-灰黑色薄层状含鲕粒泥晶灰岩夹少量中层状灰岩                            |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 15                            | 16      | 15     | 170.1                           | 灰-灰黑色薄层状灰岩夹黄绿色薄层状钙质粉砂岩                              |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 17                            | 19      | 14     | 204.8                           | 灰-深灰色薄层状灰岩夹少量泥岩, 偶见少量角砾状灰岩                          |                          |                         |                    |
|      |       |     | 四段   | T <sub>3</sub> n <sup>4</sup> | 20      | 28     | 13                              | 776.5   | 灰色纹层状钙质粉砂岩夹泥晶灰岩极少量薄层状粉砂岩 | 托索河宝日俄                  | 浅海混积陆棚沉积体系         |
|      |       |     |      | 29                            | 37      | 12     | 402.2                           | 灰色薄层状钙质粉砂岩夹泥晶灰岩及少量长石石英砂岩和细砂岩                        |                          |                         |                    |
|      |       |     | 三段   | T <sub>3</sub> n <sup>5</sup> | 13-15   | 11     | 98.9                            | 浅灰绿色薄层状细粒岩屑石英砂岩, 少量浅灰色粉砂质泥岩                         | 托索河宝日俄                   | 浅海混积陆棚沉积体系              |                    |
|      |       |     |      | 16                            | 10      | 115.5  | 浅灰色薄层状钙质粉砂岩, 含少量灰岩透镜体           |   |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 17-19                         | 9       | 46.6   | 浅灰绿色薄层状细粒岩屑石英砂岩                 |   |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 20                            | 24      | 8      | 513.5                           | 浅灰色薄层状钙质粉砂岩、粉砂质泥岩夹岩屑石英细砂岩                           |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 25                            | 26      | 7      | 127.1                           | 浅灰色薄层状粉砂岩夹粉砂质泥岩                                     |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 27                            | 6       | 149.9  | 浅灰绿色薄层状中粒岩屑石英砂岩夹浅灰色薄层状钙质粉砂岩     |   |                          |                         |                    |
|      |       |     |      | 28                            | 29      | 5      | 132.1                           | 灰色薄层状粉砂岩夹粉砂质泥岩                                      |                          |                         |                    |
|      |       |     | 二段   | T <sub>3</sub> n <sup>6</sup> | 30      | 3      | 221.0                           | 浅灰色薄层状中粒长石石英砂岩夹少量灰绿色中粗粒长石石英砂岩                       | 托索河宝日俄                   | 浅海混积陆棚沉积体系              |                    |
|      |       |     |      | 31-32                         | 1-2     | 2      | 258.9                           | 灰-深灰色薄层状灰岩, 偶夹中厚层状灰岩, 产大量生物化石                       |                          |                         |                    |
|      |       |     | 下三叠统 | 洪水川组                          | 3       | 1      | 3.0                             | 灰色中层状细砾岩  |                          | 滨海相碎屑沉积                 |                    |

图 3.2 东昆仑南缘闹仓坚沟组综合地层沉积柱状图

第三段 ( $T_2n^3$ ): 主体为一套浅灰—浅灰绿色薄层状钙质粉砂质泥岩, 浅灰色薄层状钙质粉砂岩, 浅灰绿色薄层岩屑石英细砂岩, 局部夹灰色中薄层灰岩透镜体。实测剖面中未见该层顶部, 其厚度大于 774m。

第四段 ( $T_2n^4$ ): 主要由深灰色薄层硅化粉砂质泥岩夹泥晶灰岩、浅灰绿色薄—中薄层状钙质粉砂岩夹长石石英砂岩、薄层状泥灰岩及浅灰绿色薄层状长石石英细砂岩组成。实测剖面中未见底, 厚度大于 1178m。

第五段 ( $T_2n^5$ ): 主体为一套灰—深灰—黑色薄层状生物碎屑灰岩, 鲕状灰岩, 局部夹中层状灰岩、灰绿色薄层状钙质粉砂岩, 厚度大于 1130m。

第六段 ( $T_2n^6$ ): 主体为一套灰—深灰色薄层状粉砂岩、灰—深灰色厚层块状灰岩、灰色薄层状灰岩夹灰黑色薄层状钙质粉砂岩。厚度 325—705m。

第七段 ( $T_2n^7$ ): 主要由灰—深灰色中薄层状长石石英细砂岩、中砂岩、钙质粉砂岩以及灰色薄层状砂卡岩化粉砂岩、钙质粉砂岩组成。厚度大于 888m。

第八段 ( $T_2n^8$ ): 主要由灰—深灰色薄层状灰岩, 浅灰色极薄层状灰岩与灰色钙质灰岩, 局部夹浅灰—灰绿色薄层状石英细砂岩。厚度大于 755m。

## 3.2 闹仓坚沟组地层沉积特征及沉积环境

### 3.2.1 典型剖面地层特征

研究区内闹仓坚沟组地层在平面上呈近东西向分布, 自东向西由老到新断续连接。本文以香加乡托索河—宝日禾日俄 (1)、香加乡科科鄂阿龙 (2)、香加乡查卡日塔鄂阿龙 (3)、巴隆乡和勒冈希里可特 (4) 和巴隆乡希里可特 (5) 五条实测地质剖面为例进行描述:

#### (1) 青海省都兰县香加乡托索河—宝日禾日俄实测地质剖面

该条剖面地理位置位于青海省都兰县香加乡托索河—宝日禾日俄一带, 该实测剖面长度约 17.99km, 剖面露头出露较好, 总体沿宝日和日勒沟由北西向南东行进测制。该剖面出露下三叠统洪水川组和中三叠统闹仓坚沟组, 其中闹仓坚沟组出露一段、二段和三段。

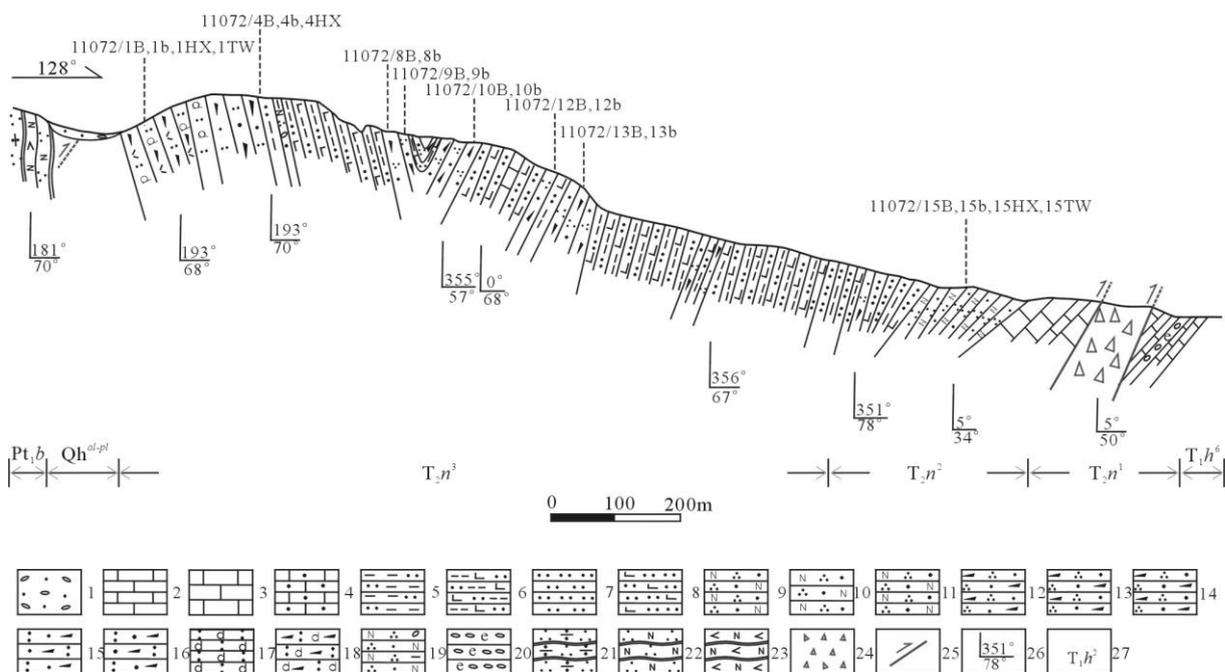


图 3.3 东昆仑南坡托索河—宝日禾日俄实测地质剖面图

1—全新统冲洪积砂、砾石；2—薄层状灰岩；3—中厚层状灰岩；4—薄层状砂质粉晶灰岩；5—薄层状粉砂质泥岩；6—薄层状钙质粉砂质泥岩；7—薄层状粉砂岩；8—薄层状钙质粉砂岩；9—薄层状中细粒长石石英砂岩；10—中厚层状中细粒长石石英砂岩；11—薄层状中粗粒长石石英砂岩；12—薄层状细粒岩屑石英砂岩；13—薄层状中细粒岩屑石英砂岩；14—薄层状中粗粒岩屑石英砂岩；15—中厚层状凝灰质岩屑砂岩；16—中层状凝灰质粗粒岩屑砂岩；17—中薄层状沉凝灰岩；18—中层状含火山角砾沉凝灰岩；19—含泥砾长石石英砂岩；20—中层状灰质细砾岩；21—透闪石英岩；22—长石石英岩；23—斜长角闪岩；24—角砾岩；25—产状；26—断层；27—地质代号

按地层顺序描述如下：

| 新层号                                     | 原层号 | 岩性描述                        | 厚度(m)  |
|---|-----|-----------------------------|--------|
| 闹仓坚沟组三段(T <sub>2</sub> n <sup>3</sup> ) |     | 未见顶                         | >774.5 |
| 23                                      | 13  | 浅灰绿色薄层状细粒岩屑石英砂岩             | 39.1   |
| 22                                      | 14  | 浅灰色薄层状钙质粉砂质泥岩               | 49.4   |
| 21                                      | 15  | 浅灰绿色薄层状细粒岩屑石英砂岩             | 29.9   |
| 20                                      | 16  | 浅灰色薄层状钙质粉砂岩夹少量灰岩透镜体         | 115.5  |
| 19                                      | 17  | 浅灰绿色薄层状细粒岩屑石英砂岩             | 18     |
| 18                                      | 18  | 浅灰色薄层状钙质粉砂质泥岩               | 13.3   |
| 17                                      | 19  | 浅灰绿色薄层状细粒岩屑石英砂岩             | 15.3   |
| 16                                      | 20  | 浅灰绿色薄层状钙质粉砂质泥岩              | 155.9  |
| 15                                      | 21  | 灰色薄层状中粗粒岩屑石英砂岩夹灰色薄层状岩屑石英细砂岩 | 19.5   |
| 14                                      | 22  | 浅灰色薄层状钙质粉砂质泥岩               | 19.9   |
| 13                                      | 23  | 灰色薄层状岩屑石英细砂岩                | 12.1   |
| 12                                      | 24  | 浅灰色薄层状钙质粉砂质泥岩               | 306.1  |
| 闹仓坚沟组二段(T <sub>2</sub> n <sup>2</sup> ) |     | 整合                          | 740.1  |
| 11                                      | 25  | 灰色薄层状粉砂岩夹粉砂质泥岩              | 97.3   |
| 10                                      | 26  | 灰色极薄层状钙质粉砂质泥岩夹中细粒岩屑石英砂岩     | 29.8   |
| 9                                       | 27  | 浅灰绿色薄层状中粒岩屑石英砂岩夹少量浅灰色薄层状钙   | 149.9  |

|                     |    |                                |       |
|---------------------|----|--------------------------------|-------|
|                     |    | 质粉砂岩                           |       |
| 8                   | 28 | 灰色薄层状粉砂岩及粉砂质泥岩                 | 112.4 |
| 7                   | 29 | 浅灰色薄层状钙质粉砂岩                    | 19.7  |
| 6                   | 30 | 浅灰绿色薄层状中粒长石石英砂岩夹少量灰绿色中粗粒长石石英砂岩 | 331.0 |
| 闹仓坚沟组一段( $T_2n^1$ ) |    |                                | 整合    |
| 5                   | 31 | 浅灰—灰色中薄层状灰岩                    | 70.3  |
| 4                   | 32 | 断层破碎带                          | 52.6  |
| 3                   | 1  | 深灰色中薄层状灰岩, 局部偶夹中厚层状灰岩          | 91.2  |
| 2                   | 2  | 灰—深灰色薄层状灰岩                     | 14.8  |
| 洪水川组六段( $T_1h^6$ )  |    |                                | 整合    |
| 1                   | 3  | 灰—深灰色中层状灰质砾岩                   | 3.9   |

## (2) 青海省都兰县香加乡科科鄂阿龙实测地质剖面

剖面位于东昆仑南坡地层分区, 地理位置处于都兰县香加乡南部的洪水川北侧的科科鄂阿龙沟, 该实测剖面长度约 5.88km, 剖面露头出露较好, 主要沿着沟的西侧由北向南行进测制。该剖面主要出露中三叠统闹仓坚沟组第四段、第五段和第六段。

按地层顺序描述如下

| 新层号                 | 原层号   | 岩性描述                              | 厚度 (m) |
|---------------------|-------|-----------------------------------|--------|
| 闹仓坚沟组六段( $T_2n^6$ ) |       |                                   | >774.5 |
| 34                  | 1     | 灰白—浅肉红色厚层块状灰岩                     | 39.1   |
| 33                  | 2     | 浅肉红色—灰红色薄层状钙质粉砂岩夹薄层灰岩             | 49.4   |
| 32                  | 3     | 灰—浅灰绿色薄层状钙质粉砂岩夹薄层灰岩               | 121    |
| 31                  | 4     | 灰—浅灰绿色薄层状中细粒钙质长石石英砂岩夹粉砂岩          | 123    |
| 闹仓坚沟组五段( $T_2n^5$ ) |       |                                   | 断层     |
| 30                  | 5     | 灰—深灰色厚层块状灰岩                       | 61.5   |
| 29                  | 6     | 灰黑色中厚层状—厚层状灰岩                     | 181    |
| 28                  | 7     | 灰—深灰—灰黑色薄—中薄层状灰岩                  | 86.7   |
| 27                  | 8     | 灰黑—深灰色薄层状灰岩夹少量钙质粉砂岩               | 38     |
| 26                  | 9     | 深灰—灰色中薄—中层状灰岩                     | 113    |
| 25                  | 10    | 灰—深灰色薄层状灰岩                        | 58.1   |
| 24                  | 11    | 灰黑—深灰色薄层状灰岩夹薄层状钙质泥岩<br>内有少量辉绿岩脉侵入 | 94     |
| 23                  | 12    | 深灰—灰黑色薄层状灰岩夹中层—中厚层状灰岩             | 5.12   |
| 22                  | 13    | 灰—灰黑色薄层灰岩与含砂质泥灰岩互层                | 118    |
| 21                  | 14    | 灰黑—深灰色薄层含鲕粒灰岩夹少量中层状灰岩             | 22.3   |
| 20                  | 15    | 灰—灰黄绿色薄层状钙质粉砂岩                    | 12.8   |
| 19                  | 16    | 灰黑色薄层灰岩夹少量钙质粉砂岩                   | 135    |
| 18                  | 17    | 灰—深灰色薄—中薄层状灰岩夹角砾状灰岩               | 16.8   |
| 17                  | 18-19 | 灰色薄层状灰岩夹少量中层状灰岩及泥灰岩条带             | 118    |
| 闹仓坚沟组四段( $T_2n^4$ ) |       |                                   | 整合     |
| 16                  | 20    | 浅灰—灰色纹层状钙质粉砂质泥岩夹少量薄层状泥灰岩          | 183    |

|     |       |  |      |
|-----|-------|--|------|
| 15  | 21    | 灰色薄层状中细粒长石石英砂岩夹少量粉砂岩                     | 45.9 |
| 14  | 22    | 浅灰—灰色薄层状中粗粒含细砾钙质长石石英砂岩夹少量长石石英细砂岩         | 40.3 |
| 13  | 23    | 灰—浅灰绿色薄层状含细砾粉砂岩夹极薄层状粉砂质泥岩及少量灰色薄层状长石石英细砂岩 | 87.5 |
| 12  | 24    | 灰色纹层状钙质粉砂质泥岩夹少量薄层状粉砂岩                    | 260  |
| 11  | 25    | 灰—深灰色纹层状钙质粉砂质泥岩夹薄层状长石石英细砂岩               | 8.7  |
| 10  | 26    | 灰色中薄层状砾岩                                 | 2.6  |
| 9   | 27    | 浅灰绿色薄层状长石石英细砂岩                           | 55   |
| 8   | 28    | 灰色纹层状钙质粉砂质泥岩                             | 93.5 |
| 7   | 29-30 | 灰—深灰色中薄层状粉砂岩夹少量钙质长石石英细砂岩                 | 78.2 |
| 6   | 31    | 浅灰色中层状泥晶灰岩                               | 35.3 |
| 5   | 32    | 灰黄绿色—浅黄绿色中薄层状长石石英细砂岩，有花岗岩脉产出             | 24.4 |
| 4   | 33-34 | 浅灰绿色条带状钙质粉砂岩夹钙质长石石英细砂岩                   | 149  |
| 3   | 35    | 深灰色薄层状硅化粉砂质泥岩夹泥晶灰岩                       | 82.3 |
| 2   | 36    | 浅灰色中薄层状长石石英细砂岩                           | 18.5 |
| 1   | 37    | 深灰色中薄层状硅化粉砂质泥岩夹泥晶灰岩                      | 14.9 |
| 未见底 |       |  |      |

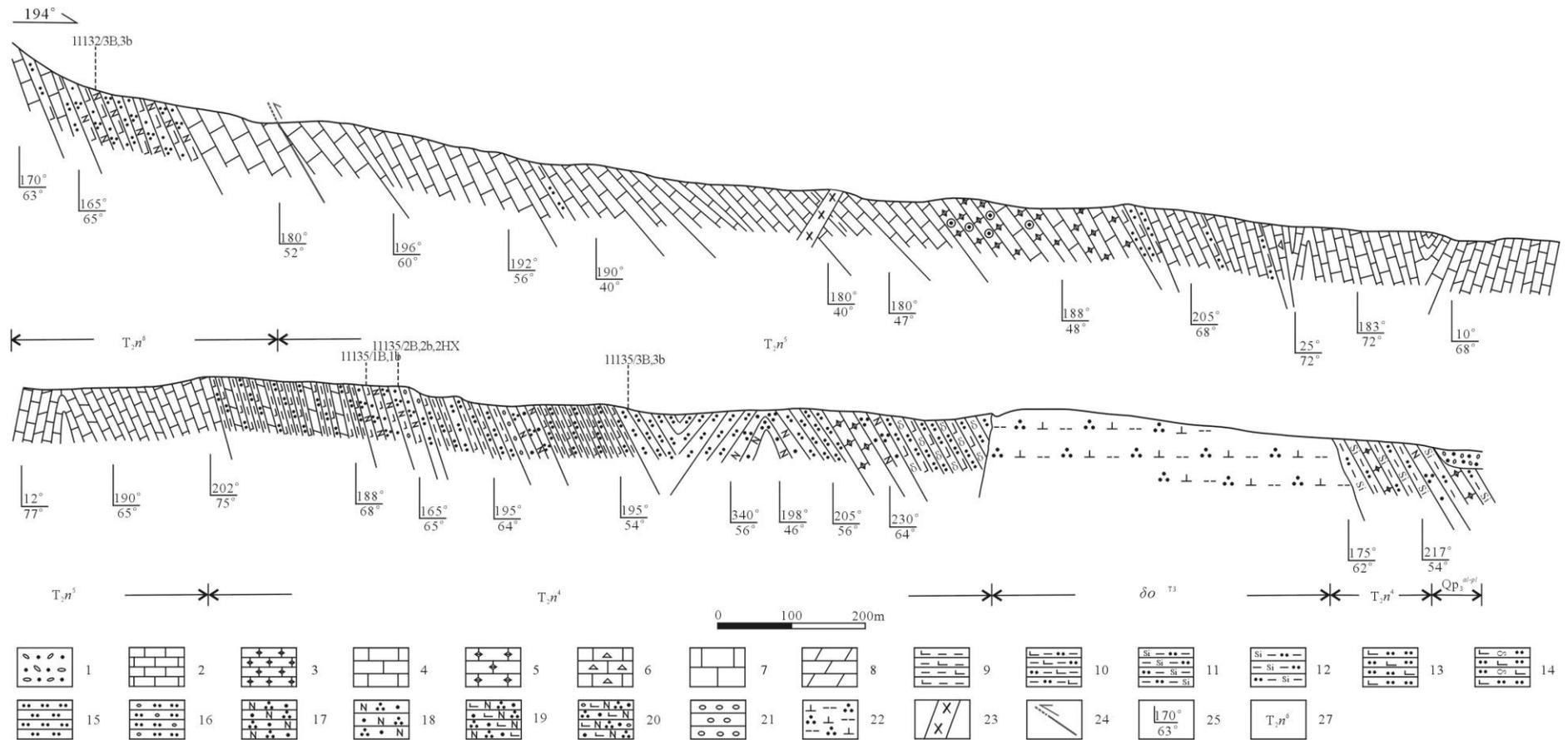


图 3.4 东昆仑南坡科科鄂阿龙实测地质剖面图

1—第四系洪冲积物；2—薄层状灰岩；3—薄层状泥晶灰岩；4—中层状灰岩；5—中层状泥晶灰岩；6—中层角砾状灰岩；7—厚层状灰岩；8—中层状白云岩；9—薄层状钙质泥岩；10—薄层状钙质粉砂质泥岩；11—薄层状硅化粉砂质泥岩；12—中层状硅化粉砂质泥岩；13—薄层状钙质粉砂岩；14—薄层条带状钙质粉砂岩；15—薄层状粉砂岩；16—薄层状含细砾粉砂岩；17—薄层状长石石英细砂岩；18—中层状细长长石石英砂岩；19—薄层状中细粒钙质长石石英砂岩；20—薄层状中粗粒含细砾钙质长石石英砂岩；21—中薄层状细砾岩；22—细粒黑云母石英闪长岩；23—辉绿岩脉；24—逆断层；25—剖面图地质产状；26—地质代号

(3) 青海省都兰县香加乡查卡日塔鄂阿龙实测地层剖面

剖面位于东昆仑南坡地层分区，地理位置处于都兰县香加乡南部红水川北侧的查卡日塔鄂阿龙沟，该实测剖面长度约 2.27km，剖面露头出露较好，由北东沿沟向南西方向行进测制。

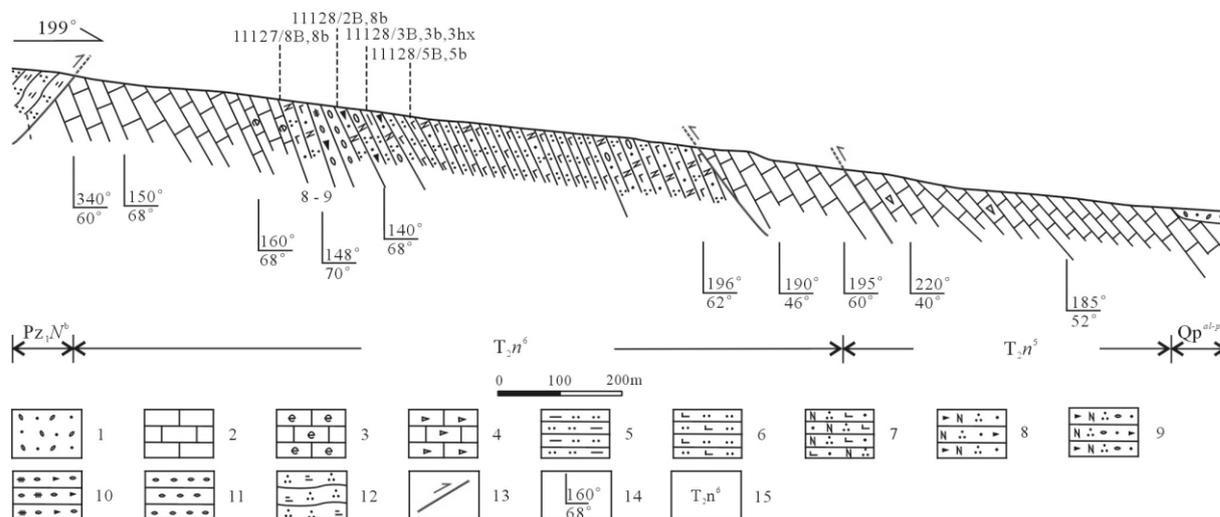


图 3.5 东昆仑南坡查卡日塔鄂阿龙实测地质剖面图

1—第四系冲洪积物；2—灰岩；3—含生物化石灰岩；4—角砾状灰岩；5—泥质粉砂岩；6—钙质粉砂岩；7—钙质长石石英砂岩；8—长石岩屑石英砂岩；9—含砾长石岩屑石英砂岩 10—复成分岩屑细砾岩；11—细砾岩；12—绢云母石英片岩；13—断层；14—产状；15—地质代号

按地层顺序描述如下：

| 新层号  | 原层号 | 岩性描述                                     | 厚度 (m) |
|--|-----|--|--------|
| 下古生界纳赤台岩群 (Pz <sub>1</sub> N)                          |     |  | >12    |
| 23   | 1   | 浅灰绿色绢云石英片岩                               | 12     |
| 闹仓坚沟组六段(T <sub>2</sub> n <sup>6</sup> ) =====断层接触===== |     |  | >708.5 |
| 22   | 2   | 浅肉红色厚层块状灰岩，局部夹少量薄层状肉红色灰岩                 | 116.1  |
| 21   | 3   | 灰—浅灰色厚层块状灰岩                              | 20.7   |
| 20   | 4   | 浅灰—灰白色厚层块状灰岩                             | 24.9   |
| 19   | 5   | 浅灰—灰色厚层块状灰岩                              | 51.4   |
| 18   | 6   | 灰紫红色厚层状灰岩                                | 16.1   |
| 17   | 7   | 灰紫红色薄层状灰岩（含生物化石）夹灰—浅灰色厚层状灰岩              | 54.9   |
| 16   | 8   | 灰紫红色薄层状钙质细粒长石石英砂岩夹少量粉砂质泥岩                | 32.6   |
| 15   | 9   | 浅灰—灰色薄层状钙质粉砂质泥岩夹少量泥灰岩                    | 4.4    |
| 14   | 10  | 灰色中层状复成分岩屑细砾岩夹少量长石岩屑砂岩                   | 6.6    |
| 13   | 11  | 灰紫—灰绿色薄层状粉砂质页岩夹薄层状灰岩                     | 11.2   |
| 12   | 12  | 灰色中厚层状细砾岩夹少量中粗粒长石石英岩屑砂岩                  | 31.7   |
| 11   | 13  | 灰—浅灰绿色中层状含砾中细粒长石岩屑石英砂岩夹少量泥质粉砂岩及中粗粒岩屑石英砂岩 | 47     |
| 10   | 14  | 灰紫—灰绿色薄层状钙质粉砂岩夹灰紫红色薄层状中细粒钙质长石石英砂岩        | 72.3   |

|                                    |    |                            |      |
|------------------------------------|----|----------------------------|------|
| 9                                  | 15 | 浅灰绿色中层状（偶含细粒）中细—中粒钙质长石石英砂岩 | 41.7 |
| =====断层接触=====                     |    |                            |      |
| 8                                  | 16 | 灰—深灰色厚层块状灰岩                | 44.3 |
| 7                                  | 17 | 灰—深灰色薄层—中薄层状灰岩             | 6.6  |
| 6                                  | 18 | 灰色—灰黑色厚层状灰岩夹中层—中厚层状灰岩      | 95.7 |
| 5                                  | 19 | 灰—深灰色厚层—中厚层状灰岩             | 30.3 |
| 闹仓坚沟组五段( $T_2n^5$ ) =====断层接触===== |    |                            |      |
| 4                                  | 20 | 灰—深灰色中薄层状灰岩，局部夹薄层角砾状灰岩     | 49.3 |
| 3                                  | 21 | 灰—灰黑色薄层状灰岩夹角砾状灰岩           | 80.9 |
| 2                                  | 22 | 灰—深灰色薄层状灰岩夹少量泥灰岩           | 149  |
| 1                                  | 23 | 灰—深灰色中—中厚层状灰岩夹少量薄层状泥灰岩     | >29  |
| 未见底                                |    |                            |      |

(4) 青海省都兰县巴隆乡和勒冈希里可特实测地质剖面

剖面位于东昆仑南坡地层分区，地理位置处于都兰县巴隆乡南部的和勒冈希里可特沟，该实测剖面长度约 4.68km，剖面露头出露状况良好，剖面由北向南行进测制。该剖面共出露下石炭统哈拉郭勒组，中三叠统闹仓坚沟组第六、第七、第八段地层。

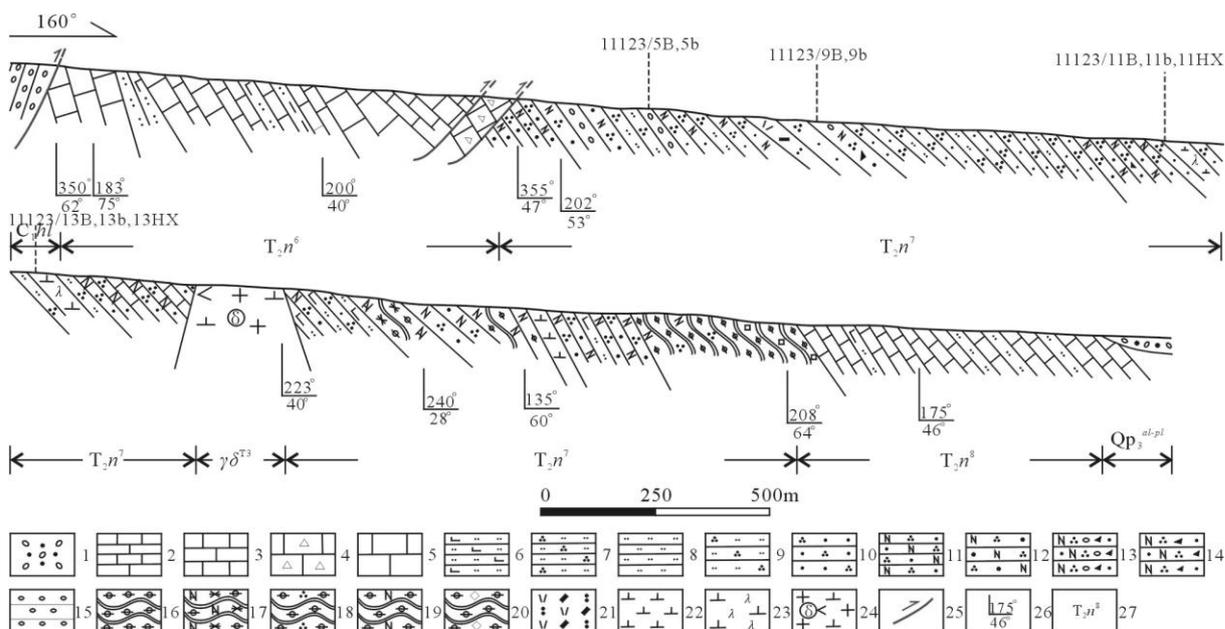


图 3.6 东昆仑南坡和勒冈希里可特实测地质剖面图

1—第四系上更新统冲洪积物；2—薄层状灰岩；3—中层状灰岩；4—碎裂状厚层块状灰岩；5—厚层块状灰岩；6—薄层状钙质粉砂岩；7—薄层状石英粉砂岩；8—中薄层状粉砂岩；9—中层状石英粉砂岩；10—中薄层状石英细砂岩；11—中薄层状长石石英细砂岩；12—中薄层状中粒长石石英砂岩；13—中层含砾中粗粒长石石英岩屑砂岩；14—中粗粒长石石英岩屑砂岩；15—中层状砾岩；16—绿帘石岩；17—钠长阳起绿帘石岩；18—长英质绿帘石岩；19—斜长绿帘石岩；20—方解石绿帘石岩；21—流纹质晶屑凝灰岩；22—闪长岩脉；23—闪长玢岩脉；24—中粒角闪花岗闪长岩（含暗色细粒闪长质包体）；25—断层；26—地质产状；27—地质代号

按地层顺序描述如下：

| 新层号 | 原层号 | 岩性描述 | 厚度 (m) |
|-----|-----|------|--------|
|-----|-----|------|--------|

|                     |       |   |        |
|---------------------|-------|---|--------|
| 闹仓坚沟组八段( $T_2n^8$ ) |       | 未见顶   | >262.8 |
| 49                  | 73    | 灰—深灰色薄层状灰岩夹极量钙质粉砂岩                          | >30.5  |
| 48                  | 72    | 深灰色薄层状灰岩夹浅黄绿色粉砂岩                            | 68.1   |
| 47                  | 71    | 灰—深灰色薄层状灰岩                                  | 29.4   |
| 46                  | 70    | 灰—深灰色灰岩夹钙质粉砂岩                               | 6.9    |
| 45                  | 69    | 灰—深灰色薄层状灰岩                                  | 67.4   |
| 44                  | 68    | 灰色薄层状灰岩夹薄层状钙质粉砂岩                            | 16.6   |
| 43                  | 67    | 灰—深灰色薄层状灰岩                                  | 23.7   |
| 42                  | 66    | 灰—深灰色薄层状灰岩夹泥灰岩                              | 20.2   |
| 闹仓坚沟组七段( $T_2n^7$ ) |       | 整合  | 888.3  |
| 41                  | 65    | 灰色薄层状方解石绿帘石岩(矽卡岩化钙质粉砂岩)                     | 55.1   |
| 40                  | 64    | 灰—浅灰绿色厚层块状绿帘石岩(矽卡岩化粉砂岩)                     | 9      |
| 39                  | 63    | 浅黄绿色薄层状长英质绿帘石岩(矽卡岩化钙质粉砂岩)                   | 114.6  |
| 38                  | 62    | 灰—灰绿色中薄层状长石石英砂岩夹少量钙质粉砂岩                     | 99.4   |
| 37                  | 60-61 | 灰—浅灰绿色中层状中—中粗粒长石石英砂岩与较多的细粒斜长绿帘石岩(矽卡岩化钙质粉砂岩) | 11.2   |
| 36                  | 59    | 浅灰蓝绿色钠长阳起绿帘石岩(矽卡岩化钙质粉砂岩)                    | 47.3   |
| 35                  | 58    | 灰色中厚层状中粒长石石英砂岩夹少量石英细砂岩                      | 23.1   |
| 34                  | 57    | 深灰色—灰色硅化中层状石英细砂岩与矽卡岩化灰绿色钙质粉砂岩互层             | 22.5   |
| 33                  | 56    | 浅灰绿色中层状绿帘石化钙质粉砂岩                            | 12.5   |
| 32                  | 55    | 灰—浅灰色中薄层状中粒长石石英砂岩夹少量石英细砂岩                   | 5      |
| 31                  | 53-54 | 浅灰—杂色中薄层状中细粒长石石英砂岩夹灰岩                       | 81.3   |
| 30                  | 52    | 灰—浅灰色中薄层状石英粉砂岩夹长石石英细砂岩,有闪长岩脉侵入              | 40.5   |
| 29                  | 51    | 灰—深灰色中薄层状长石石英细砂岩,内有闪长玢岩脉产生                  | 43.6   |
| 28                  | 50    | 灰色中薄层状中细粒长石石英砂岩夹中粗粒长石石英岩屑砂岩                 | 43.7   |
| 27                  | 49    | 灰—深灰色石英细砂岩夹石英粉砂岩                            | 73.9   |
| 26                  | 48    | 灰—浅灰色中厚层状含砾中粗粒长石石英岩屑砂岩                      | 11.6   |
| 25                  | 47    | 深灰—灰色中厚层状长石石英细砂岩夹流纹质晶屑凝灰岩夹层                 | 8.7    |
| 24                  | 46    | 深灰—浅灰紫色块状流纹质晶屑凝灰岩                           | 6.8    |
| 23                  | 45    | 深灰色中薄层状长石石英细砂岩夹石英粉砂岩、流纹质晶屑凝灰岩夹层             | 32     |
| 22                  | 44    | 灰白—白色厚层状砾岩                                  | 0.5    |
| 21                  | 43    | 浅灰—灰绿色薄层状石英粉砂岩夹薄层状中粗粒长石砂岩                   | 3939   |
| 20                  | 42    | 灰—深灰色中厚层状中粗粒长石石英砂岩                          | 8.2    |
| 19                  | 41    | 深灰色中层—中厚层状中粗粒长石石英砂岩夹砾岩层                     | 17.9   |
| 18                  | 40    | 灰—浅灰色中薄层状中粒长石石英砂岩夹少量石英细砂岩及蚀变流纹岩             | 28.3   |
| 闹仓坚沟组六段( $T_2n^6$ ) |       | 断层  | 477.1  |
| 17                  | 39    | 灰—浅肉红色碎裂状厚层块状灰岩(断层破碎带)                      | 16     |
| 16                  | 38    | 灰—深灰色薄层状灰岩                                  | 47.4   |
| 15                  | 37    | 灰—浅肉红色厚层块状灰岩                                | 16.5   |
| 14                  | 36    | 灰—深灰色薄层状灰岩夹少量灰黑色薄层状粉砂岩                      | 43.1   |

|  |    |                          |      |
|--|----|--------------------------|------|
| 13   | 35 | 浅灰—浅肉红色厚层块状灰岩            | 43.1 |
| 12   | 34 | 灰—深灰色薄层状灰岩夹少量灰黑色薄层状钙质粉砂岩 | 62.9 |
| 11   | 33 | 灰—深灰色薄层泥质粉砂岩与浅灰色薄层状灰岩互层  | 23.9 |
| 10   | 32 | 灰—深灰色薄层灰岩夹少量灰黑色薄层状钙质粉砂岩  | 49   |
| 9  | 31 | 浅灰—浅肉红色厚层块状灰岩            | 19   |
| 8  | 30 | 灰—深灰色薄层状灰岩夹少量灰黑色薄层状钙质粉砂岩 | 58.4 |
| 7  | 29 | 浅灰—浅肉红色厚层块状灰岩            | 6.6  |
| 6  | 28 | 灰—深灰色薄层状灰岩与钙质粉砂岩互层       | 3.7  |
| 5  | 27 | 灰—深灰色薄层状粉砂岩              | 25   |
| 4  | 26 | 浅灰—浅肉红色厚层块状灰岩            | 23   |
| 3  | 25 | 灰—深灰色中薄层状灰岩              | 19.2 |
| 2  | 24 | 浅灰—浅肉红色厚层块状灰岩            | 23.4 |
| 下石炭统哈拉郭勒组 (C <sub>1</sub> hl) =====断层===== |    |                          | >21  |
| 1  | 23 | 灰黑色薄层状泥质粉砂岩              | 21   |

(5) 青海省都兰县巴隆乡希里可特实测地质剖面

剖面位于东昆仑南坡地层分区，地理位置处于都兰县巴隆乡南部的希里可特沟，该实测剖面长度约 3.56km，剖面露头出露较好，由北向南行进测制。该剖面共出露下石炭统哈拉郭勒组，中三叠统闹仓坚沟组和中三叠统希里可特组。其中中三叠统闹仓坚沟组出露第八段，岩石组合主要为一套浅灰色薄层状灰岩、砾屑灰岩和泥质粉砂岩为主，局部夹有细砂岩。

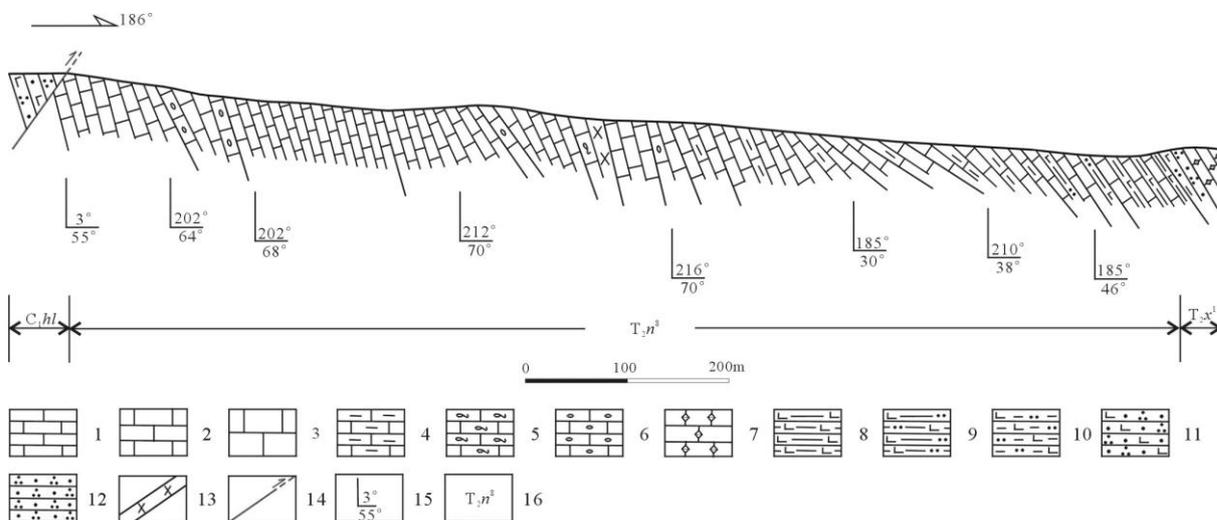


图 3.7 东昆仑南坡希里可特实测地质剖面图

1—薄层状灰岩；2—中薄层状灰岩；3—厚层状灰岩；4—薄层状泥灰岩；5—薄层条带状灰岩；6—薄层状砾状灰岩；7—中厚层状泥晶灰岩；8—钙质页岩；9—钙质粉砂质页岩；10—薄层状钙质粉砂质泥岩；11—中薄层状钙质石英细砂岩；12—薄层状石英细砂岩；13—辉绿岩脉；14—逆断层；15—产状(剖面)；16—地质代号

按地层顺序描述如下：

| 新层号 | 原层号 | 岩性描述 | 厚度 (m) |
|-----|-----|------|--------|
|-----|-----|------|--------|

|  |  |       |
|--|--|-------|
| 希里可特组 (T <sub>2</sub> x <sup>1</sup> )                   |  | 47.4  |
| 26   | 47 杂色厚层块状复成分砾岩夹紫红色中厚层状中粗粒岩屑石英砂岩        | 47.4  |
| 闹仓坚沟组八段(T <sub>2</sub> n <sup>8</sup> ) ~~~~~微角度不整合~~~~~ |  | >755  |
| 25   | 46 浅肉红色中厚层状泥晶灰岩夹少量砾状灰岩                 | 0.4   |
| 24   | 45 灰—浅灰色薄层状钙质粉砂质泥岩、钙质粉砂岩夹浅灰—灰色薄层状石英细砂岩 | 13.8  |
| 23   | 44 浅灰—灰色极薄层状灰岩与钙质页岩互层                  | 66.2  |
| 22   | 43 浅灰—灰色薄层状灰岩与钙质页岩互层                   | 12.2  |
| 21   | 42 深灰色极薄层状灰岩与钙质粉砂质页岩互层                 | 33.6  |
| 20   | 41 深灰色薄层状灰岩与泥灰岩互层                      | 76.6  |
| 19   | 40 深灰色薄层状灰岩夹少量灰色泥灰岩                    | 14.2  |
| 18   | 39 灰—深灰色薄层状灰岩夹少量中薄层状灰岩                 | 16.4  |
| 17   | 38 灰—深灰色薄层状灰岩夹少量泥灰岩及薄层状灰岩              | 86.1  |
| 16   | 37 灰—深灰色厚层状砾状灰岩夹浅灰色厚层块状灰岩透镜体           | 6.1   |
| 15   | 36 浅灰—灰色薄层状灰岩夹灰色泥灰岩                    | 18.2  |
| 14   | 35 深灰色厚层状砾屑灰岩夹少量薄层状灰岩                  | 8.4   |
| 13   | 34 灰—深灰色薄层状灰岩夹少量砾屑灰岩                   | 9.9   |
| 12   | 33 灰—深灰色厚层状砾状灰岩                        | 7.9   |
| 11   | 32 灰—深灰色薄层状灰岩                          | 35.4  |
| 10   | 31 灰—深灰色薄层条带状灰岩 (20m 处发育辉绿岩脉)          | 28.5  |
| 9  | 30 浅灰—灰色薄层状灰岩                          | 28.6  |
| 8  | 29 浅灰—灰色中层砾状灰岩                         | 12    |
| 7  | 28 灰—深灰色薄层状灰岩夹中—中薄层状灰岩                 | 17.8  |
| 6  | 27 灰—深灰色极薄层灰岩                          | 114.7 |
| 5  | 26 浅灰—灰色薄层砾状灰岩                         | 5     |
| 4  | 25 灰色薄层灰岩夹中薄层状灰岩                       | 73    |
| 3  | 24 浅灰色中层状砾状灰岩                          | 4.2   |
| 2  | 23 灰—深灰色薄层状灰岩夹灰黑色中薄层状灰岩                | 65.7  |
| 下石炭统哈拉郭勒组 (C <sub>1</sub> hl) =====断层=====               |  | 30.3  |
| 1  | 22 深灰色中薄层状含钙质石英细砂岩夹灰黑色极薄层状粉砂质泥岩        | 30.3  |

### 3.2.2 闹仓坚沟组地层沉积特征、沉积环境分析

中三叠统闹仓坚沟组主要分布在东昆仑东段南坡,研究区内分布于额尾—察汗禾勒戈一带,与下覆地层下三叠统洪水川组整合接触,与上覆地层上三叠统八宝山组及中三叠统希里可特组呈角度或微角度不整合接触关系。在平面上呈近东西向条带状分布。据野外实测剖面将闹仓坚沟组分为上下两个亚组,共八段(图 3.2),其中下亚组:一段—四段主体以碎屑岩为主夹碳酸盐岩,第一段主要为灰—深灰色薄层—中薄层灰岩,为一套浅海碳酸盐岩台地沉积组合;第二、三段,主体岩性为浅灰色中细粒长石石英砂岩,钙质粉砂岩,粉砂岩,局部地段夹少量泥晶灰岩透镜体。砂岩和粉砂岩中见水平层理构造,为陆源碎屑陆棚沉积组合,垂向上,砂岩层减少,而粉砂岩和泥岩层增多,呈现出

向上变细的退积序列，水体变深；第四段主要为灰—浅灰色薄层状钙质粉砂岩夹灰色薄层状灰岩、极薄层状粉砂质泥岩夹灰绿色薄层状细砂岩为主，粉砂质泥岩发育水平层理，表明水平相对平静，为浅海陆源碎屑陆棚沉积体系；上亚组：五段—八段主体以碳酸盐岩为主夹碎屑岩，第五、第六段主体为深灰—灰白色生物碎屑灰岩、鲕粒灰岩、角砾状灰岩夹钙质泥岩和钙质长石石英细砂岩，灰岩中含较多生物化石，主体为菊石和双壳类，部分岩石呈中厚层—厚层块状，具鲕粒结构、生物碎屑结构和角砾状结构，应当为浅海碳酸盐陆棚沉积及台地前缘斜坡沉积；七段主体为灰色薄—中薄层状中细石英粒砂岩、粉砂岩，钙质粉砂岩，主体沉积物粒度较细，为浅海陆源碎屑陆棚沉积体系，八段主体为一套灰色薄层灰岩夹钙质粉砂岩组合，钙质粉砂岩中水平层理较发育，表明水体相对较深，应当为一套浅海混积陆棚沉积体系。一至四段由灰—深灰色薄层—中薄层灰岩变为发育水平层理的碎屑岩组合，沉积盆地水深变浅，五段至八段主体以碳酸盐岩为主夹碎屑岩，其中六段、七段均夹有一定厚度的碎屑岩，说明沉积盆地水深具有由浅水—深水—浅水的多旋回特征，总体上盆地有日益填满的趋势，中三叠统闹仓坚沟组自下而上陆源碎屑物提供减少，进入沉积萎缩期，沉积环境由浅海陆源碎屑沉积环境演变为浅海碳酸盐岩台地沉积环境。

## 第四章 东昆仑东段南坡中三叠统闹仓坚沟组物源分析

### 4.1 闹仓坚沟组岩相学特征及源区判别

#### 4.1.1 砂岩岩相学特征

用 UB-200i 偏光显微镜对东昆南地区闹仓坚沟组样品中的砂岩薄片进行镜下观察，碎屑颗粒分选性较差，磨圆度较差，基本呈棱角状—次棱角状，仅有少数为次圆状，碎屑颗粒粒径在 0.3~1.5mm 之间，多数在 0.4~0.8mm 之间。碎屑颗粒分布杂乱无章，主要为钙质胶结，多为颗粒支撑，颗粒以点线接触为主（图 4.1）。

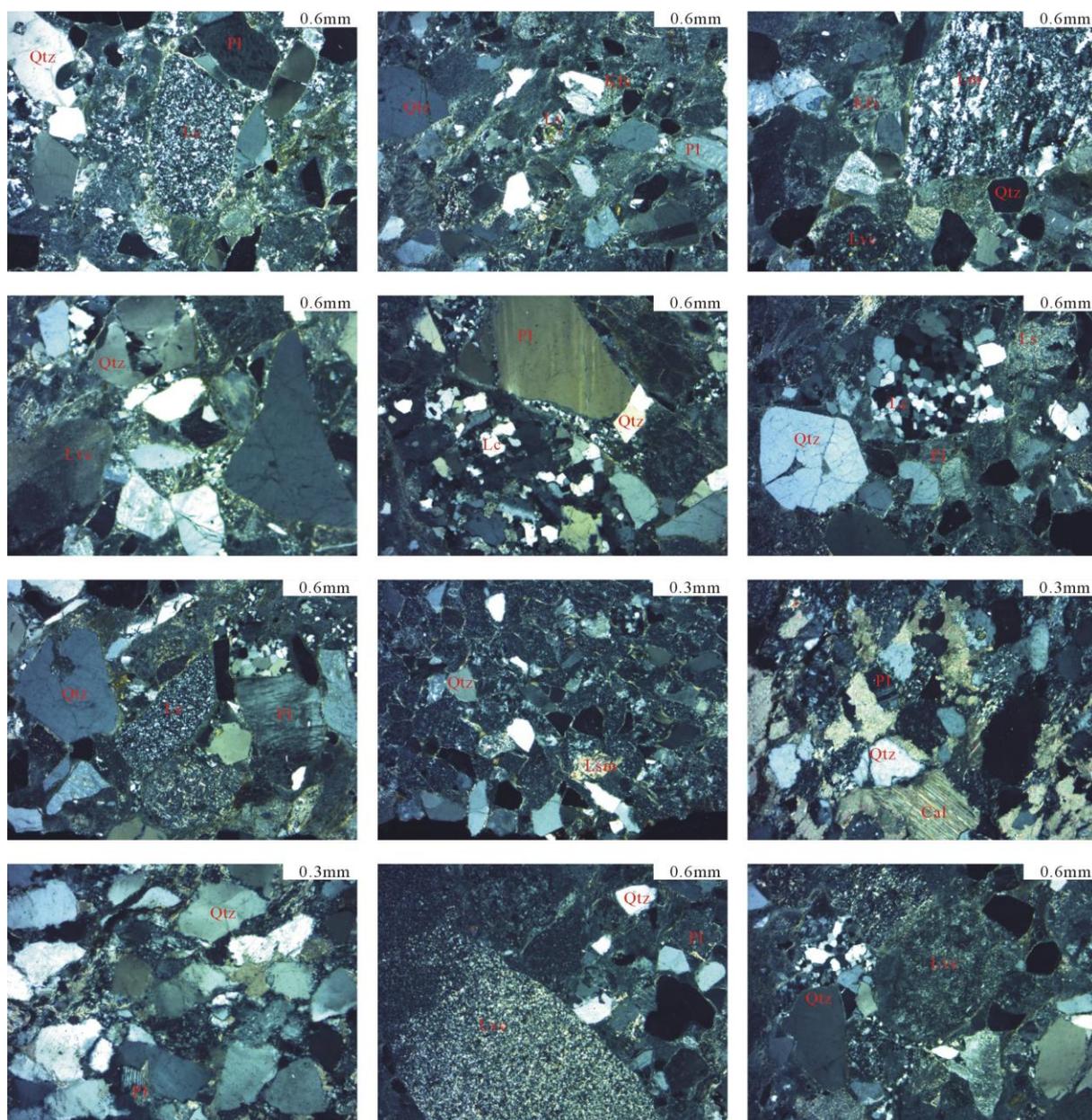


图 4.1 东昆仑南坡闹仓坚沟组砂岩镜下照片

Qtz—石英; Pl—斜长石; Kfs—钾长石; Cal—方解石; Lv—火山岩岩屑; Ls—沉积岩岩屑; Lm—变质岩岩屑; Lvc—隐晶质火山岩岩屑; Lc—硅质岩岩屑; Lsm—泥岩岩屑

薄片样品总体具有石英颗粒含量最高, 岩屑和长石含量较低的特征, 其它碎屑物极少, 有少量的云母和绿泥石, 云母呈条带状, 部分发生蚀变。其中石英多为单晶石英, 多晶石英较少, 呈它形粒状, 磨圆度较差, 石英颗粒表面干净, 偶见弱波状消光, 部分石英可见次生加大边, 少数石英发育一定程度的裂隙, 且部分被溶蚀成港湾状, 大量研究资料认为单晶石英多为岩浆成因, 多晶石英为变质成因。岩屑根据其原岩可分为沉积岩岩屑、岩浆岩岩屑及变质岩岩屑, 这些岩屑大小变化范围较大, 形态不一, 比较复杂。其中沉积岩岩屑主要为硅质岩岩屑, 含有少量的砂岩岩屑和碳酸盐岩岩屑。硅质岩岩屑在镜下主要呈细小粒状石英集合体, 砂岩岩屑具有典型的碎屑结构, 由碎屑颗粒及胶结物组成, 泥岩岩屑主要由粘土质矿物组成, 表面呈污浊。岩浆岩岩屑主要有花岗岩岩屑、酸性喷出岩岩屑及中基性喷出岩岩屑, 其中花岗岩岩屑保存有典型的花岗结构, 火山岩岩屑具玻基交织结构。变质岩岩屑以云母石英片岩和石英岩岩屑为主。

#### 4.1.2 碎屑组分特征及物源分析

古河流体系和古地貌特征的恢复还原是沉积学中物源分析重要手段, 并且用于古气候、物源区母岩的性质以及沉积盆地构造背景的确定等, 而物源分析是盆地分析的重中之重。目前盆地分析主要依据地层的空间展布特征、岩相学特征、矿物成分的含量及组合特征、地球化学特征及纵向和横向上的变化等。而砂岩碎屑组分不仅能反映当时的沉积环境, 还携带了大量的有关物源区的信息, 因而砂岩碎屑组分分析可以较为直接的判断沉积岩埋藏前的碎屑组成和物源区性质,

进一步分析其大地构造背景。

本文利用中三叠统闹仓坚沟组砂岩碎屑骨架统计分析其源区特征。碎屑成分统计采用 Dickinson—Gazzi 点计法<sup>[80]</sup>(Ingersoll R V et al., 1984), 每个砂岩薄片样品统计的颗粒数在 350—500 之间, 统计包括碎屑物成分和胶结物。经排除杂基大于 25% 的砂岩样品, 总计有 17 件合格的样品, 具体数据见表 4.1。17 件砂岩样品中石英含量最高, 岩屑次之, 长石含量最少, 其平均含量分别为

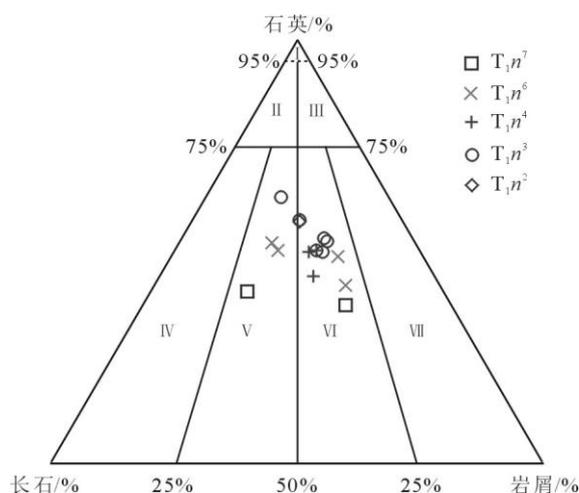


图 4.2 东昆仑南坡闹仓坚沟组砂岩分类图

I—石英砂岩; II—长石石英砂岩; III—岩屑砂岩; IV—长石砂岩; V—岩屑长石砂岩; VI—长石岩屑砂岩; VII—岩屑砂岩

49%、26%、21% (图 4.3)。其中石英主要为单晶石英, 占总量 77%, 多晶石英仅占 23%; 长石颗粒主要为斜长石, P/K 比值为 1.5; 沉积岩岩屑占岩屑总量的 47%, 变质岩岩屑占岩屑总量的 29%, 火山岩岩屑占岩屑总量的 24%。根据砂岩三端元分类法将闹仓坚沟组砂岩样品分类, 如图 4.2, 闹仓坚沟组 17 件砂岩样品中大多数落入长石岩屑砂岩区域, 其余 5 件样品为岩屑长石砂岩。如图 4.3 为东昆仑东段南坡闹仓坚沟组砂岩 Qt%、F% 和 L% 纵向变化图 (一、五、八段主要为碳酸盐岩, 因此未统计), 图中显示闹仓坚沟组砂岩样品中石英含量纵向上有减小的趋势, 推断由下到上其成分成熟度逐渐降低, 长石和岩屑的含量在纵向上基本保持一致, 无明显变化。

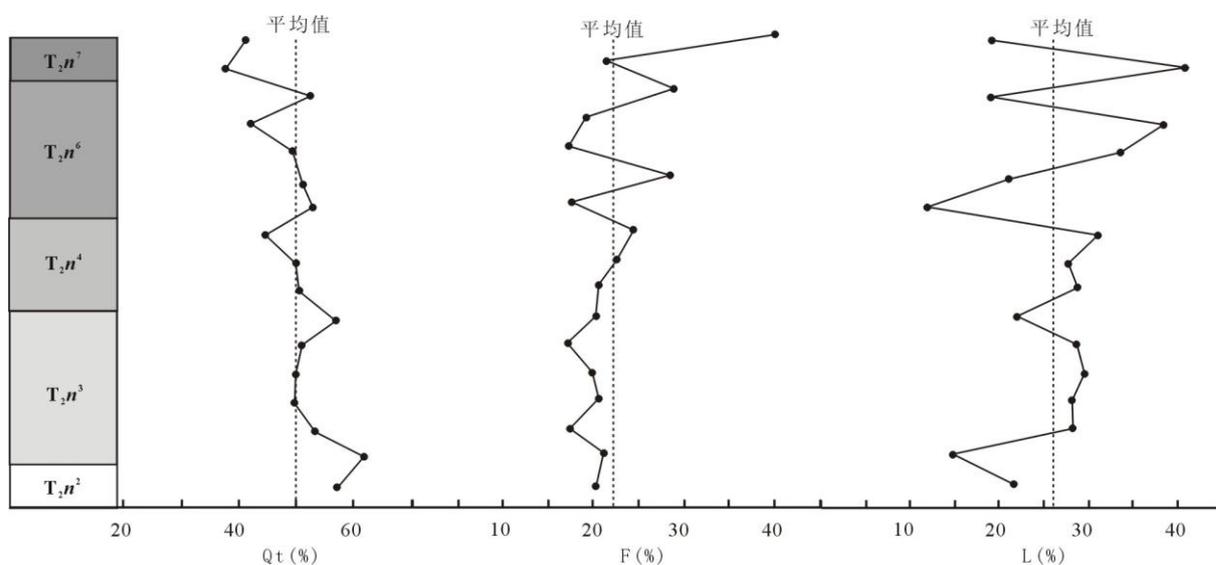


图 4.3 东昆仑东段南坡闹仓坚沟组砂岩 Qt% (石英)、F% (长石) 和 L% (岩屑) 纵向变化图

在对闹仓坚沟组 17 件砂岩样品统计数据的基础上, 采用 Dickinson (1979, 1983, 1985) 的 Qt-F-L, Qm-F-Lt, Qp-Lv-Ls, Qm-P-K 砂岩构造环境判别三角图解, 以判别闹仓坚沟组碎屑沉积物物源区的大地构造背景<sup>[32,33,43]</sup>。如图 4.4 中 Qt-F-L 图解可见, 绝大部分砂岩样品的落入再旋回造山带, 海洋/大陆成分的比值表明碎屑物来源于海洋大于大陆, 仅有 2 件样品投入岩浆弧区; 在 Qm-F-Lt 图解中, 绝大多数样品落入再旋回造山带区域, 碎屑组分中燧石/石英比值自上而下逐渐增大, 仅有 1 件样品落入岩浆弧生成区, 且为深成岩; 并且在 Qt-F-L 和 Qm-F-Lt 图解中其物源区有一定的变化趋势, 在垂向上其物源区由再旋回造山带和碰撞造山带向岩浆弧过渡。在 Qp-Lv-Ls 图解中, 大部分砂岩样品物源属于碰撞造山带来源区, 有 1 件样品则显示其来源为消减杂岩带; 在 Qm-P-K 图解中, 砂岩样品成熟度及稳定性随着单晶石英含量的增高而增高。综合以上图解分析, 东昆仑东段南坡闹仓坚沟组砂岩物质来源比较复杂, 主要来自岩浆弧物源区、碰撞造山

带和再旋回造山带，并且由再旋回造山带和碰撞造山带向岩浆弧过渡。

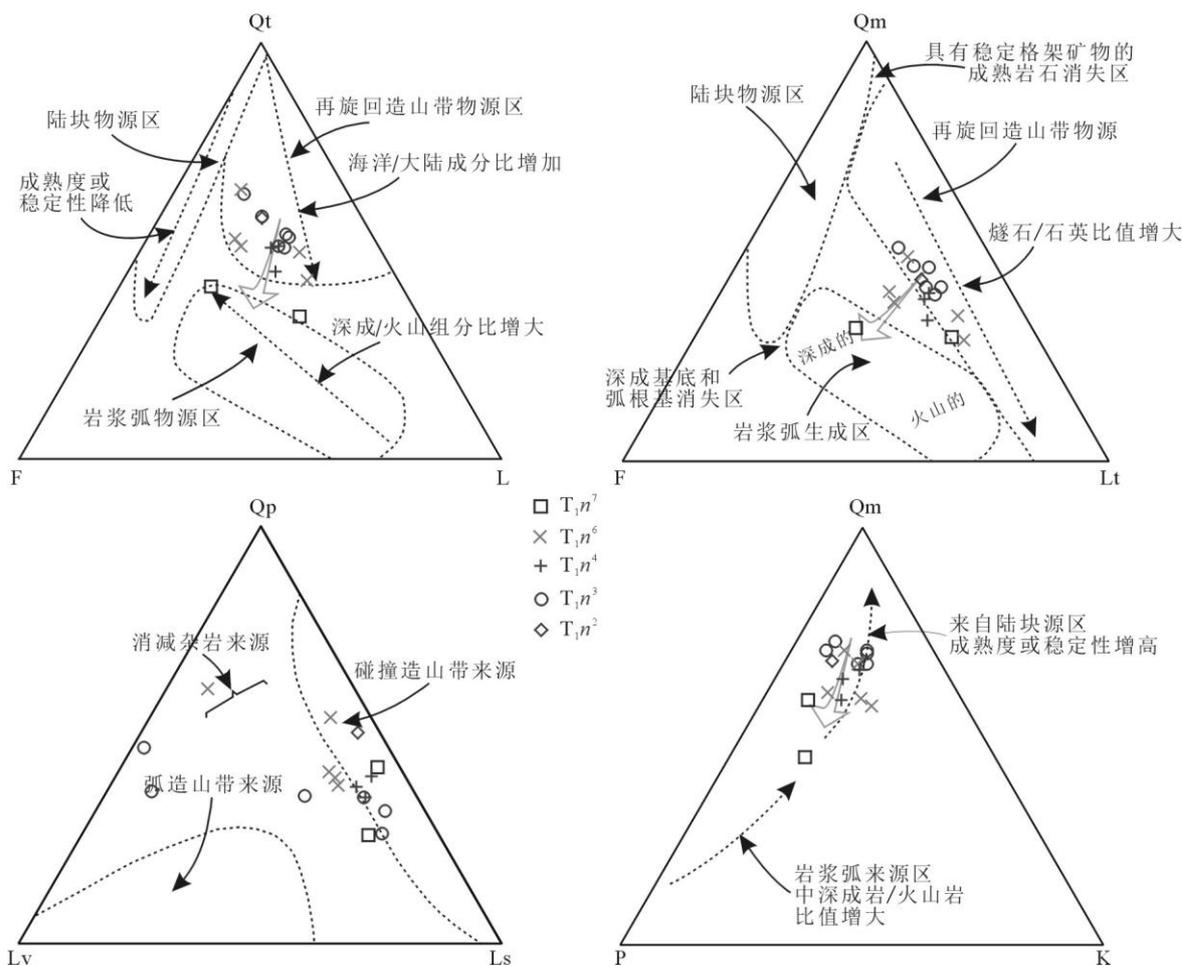


图 4.4 东昆仑南坡闹仓坚沟组砂岩 Dickinson 判别图解 (据 Dickinson, 1985)

表 4.1 东昆仑南坡闹仓坚沟组砂岩碎屑组分特征统计表

| 薄片编号     | 段                            | Qm  | Qp | K  | P   | Lv | Ls | Lm | Ms | Bt | M/% | Total | Qt  | F   | L   | Lt  |
|----------|------------------------------|-----|----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|
| 11123/5  | T <sub>2n</sub> <sup>7</sup> | 135 | 39 | 48 | 122 | 5  | 51 | 26 | 6  | 2  | 5   | 426   | 174 | 170 | 82  | 121 |
| 11123/9  |                              | 127 | 35 | 21 | 71  | 21 | 84 | 72 | 4  | 9  | 6   | 431   | 162 | 92  | 177 | 212 |
| 11127/8  | T <sub>2n</sub> <sup>6</sup> | 153 | 59 | 63 | 54  | 10 | 42 | 23 | 8  | 0  | 15  | 404   | 212 | 117 | 75  | 134 |
| 11128/2  |                              | 119 | 55 | 25 | 54  | 23 | 71 | 66 | 2  | 6  | 6   | 413   | 174 | 79  | 160 | 215 |
| 11128/3  |                              | 146 | 60 | 34 | 39  | 24 | 72 | 46 | 4  | 3  | 3   | 421   | 206 | 73  | 142 | 202 |
| 11128/5  |                              | 164 | 41 | 57 | 59  | 16 | 45 | 24 | 3  | 4  | 4   | 406   | 205 | 116 | 85  | 126 |
| 11140/4  |                              | 158 | 45 | 25 | 43  | 23 | 7  | 14 | 32 | 39 | 5   | 386   | 203 | 68  | 44  | 99  |
| 11135/1  | T <sub>2n</sub> <sup>4</sup> | 158 | 51 | 45 | 69  | 17 | 82 | 47 | 1  | 7  | 11  | 469   | 209 | 114 | 146 | 197 |
| 11135/2  |                              | 157 | 46 | 35 | 56  | 9  | 63 | 39 | 6  | 5  | 15  | 404   | 202 | 91  | 111 | 157 |
| 11135/3  |                              | 162 | 43 | 41 | 45  | 14 | 61 | 41 | 3  | 0  | 15  | 405   | 205 | 84  | 116 | 159 |
| 11072/1  | T <sub>2n</sub> <sup>3</sup> | 165 | 39 | 38 | 35  | 60 | 11 | 6  | 4  | 3  | 15  | 361   | 204 | 73  | 77  | 116 |
| 11072/8  |                              | 191 | 52 | 43 | 38  | 36 | 64 | 38 | 11 | 3  | 8   | 476   | 243 | 81  | 138 | 190 |
| 11072/9  |                              | 183 | 49 | 48 | 43  | 17 | 79 | 42 | 4  | 2  | 7   | 467   | 232 | 91  | 138 | 187 |
| 11072/10 |                              | 188 | 41 | 44 | 50  | 12 | 81 | 37 | 3  | 4  | 8   | 460   | 229 | 94  | 130 | 171 |
| 11072/12 |                              | 206 | 33 | 23 | 56  | 16 | 82 | 30 | 2  | 5  | 6   | 453   | 239 | 79  | 128 | 161 |
| 11072/13 |                              | 185 | 45 | 19 | 60  | 50 | 3  | 2  | 7  | 3  | 5   | 374   | 230 | 79  | 55  | 100 |
| 11072/15 | T <sub>2n</sub> <sup>2</sup> | 186 | 61 | 27 | 62  | 6  | 56 | 31 | 5  | 0  | 8   | 434   | 247 | 89  | 93  | 154 |

注: Qm—单晶石英; Qp—多晶石英; Qt—总石英; K—钾长石; P—斜长石; F—长石; Lv—火山岩

岩屑；Ls—沉积岩岩屑；Lm—变质岩岩屑；L—岩屑；Lt—总岩屑（Qp +L）；Ms—白云母；Bt—黑云母；M—杂基；Total—总颗粒数

## 4.2 砂岩岩石地球化学特征及源区分析

沉积物的化学成分和碎屑矿物的组成二者之间存在密切的联系，表现为不同构造环境下形成的沉积岩对应不同的地球化学特征<sup>[46]</sup>（徐亚军等，2007）。因此利用沉积岩地球化学特征可以进一步反推其形成环境，地球化学分析包括主量元素地球化学分析和微量、稀土元素地球化学分析，对所得分析数据进一步讨论，通过其数据特征来判断闹仓坚沟组碎屑岩的物源区及其属性分析。

### 4.2.1 常量元素地球化学特征

砂岩主量元素能够较为直观地反映碎屑颗粒组成的特征，其分析结果见附表 4.2。由于 11123/11、11128/3、11128/5、11140/1、11135/2、11135/3 这 6 件样品的烧失量大于 10，CaO 的含量大于 17%，在讨论其主量元素特征时应该除去这 6 个对分析影响较大的样品。闹仓坚沟组砂岩样品 SiO<sub>2</sub>（56.71%~77.58%）含量中等，平均值为 70.13%；TiO<sub>2</sub> 含量为 0.12%~0.99%，平均值为 0.38%；Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 6.17%~13.63%，平均值为 11.69%；Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*含量在 1.29%~6.62%之间，其平均值为 3.41%；MgO 含量在 0.29%~2.94%之间，其平均值为 1.16%；CaO 含量在 0.59%~8.04%之间，其平均值为 4.81%；Na<sub>2</sub>O 含量在 1.45%~3.08%之间，其平均值为 2.07%；K<sub>2</sub>O 含量在 0.47%~4.07%之间，其平均值为 2.39%。前人研究认为 SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*+MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 及 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O) 等各项数值在不同构造背景下具有不同的特征，利用常量元素特征数值和不同构造背景下的标准值进行比较，如图 4.5 为东昆仑东段南坡闹仓坚沟组砂岩与不同构造背景主量元素纵向对比（一、五、八段主要为碳酸盐岩，因此未统计），图中显示 TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*+MgO/K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 的变化趋势非常相似，SiO<sub>2</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O) 变化趋势较为相似，总体可以看出其物源的构造背景具有由大陆边缘逐渐向大陆岛弧过渡的趋势。综合认为闹仓坚沟组砂岩物源的构造背景总体接近于大陆岛弧及大陆边缘，处于逐渐过渡状态，表明其物源区构造环境的复杂性和多元性。

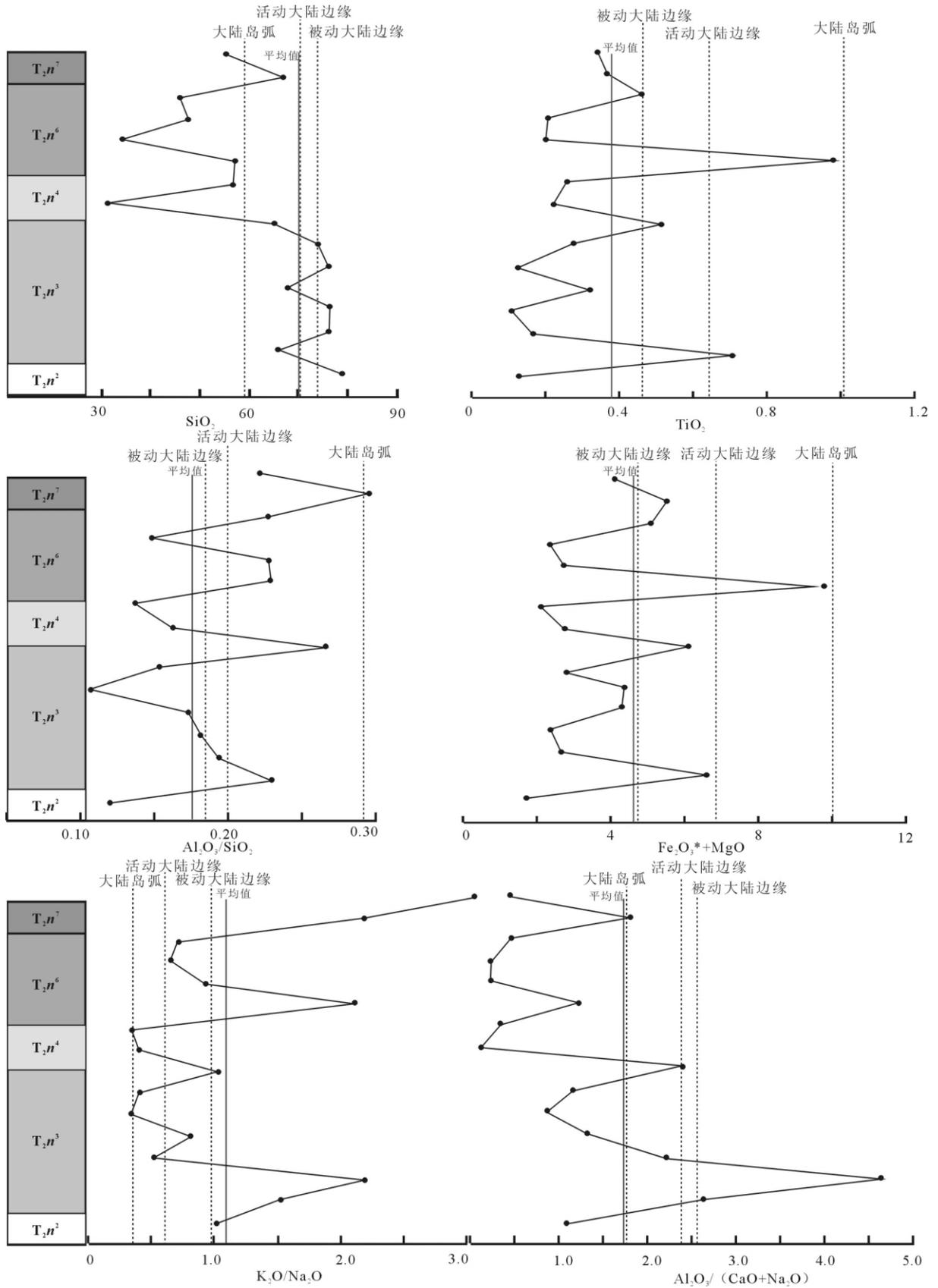


图 4.5 东昆仑东段南坡闹仓坚沟组砂岩与不同构造环境背景砂岩主量元素对比

表 4.2 东昆仑东段南坡闹仓坚沟组砂岩主量元素测试数据

| 样品<br>层位   | 11123<br>$T_{2n}^7$ | 11123/<br>$T_{2n}^6$ | 11128<br>$T_{2n}^6$ | 11128<br>$T_{2n}^6$ | 11140<br>$T_{2n}^6$ | 11140<br>$T_{2n}^6$ | 11135<br>$T_{2n}^4$ | 11135<br>$T_{2n}^4$ | 11070/<br>$T_{2n}^3$ | 11070/<br>$T_{2n}^3$ | 11070/<br>$T_{2n}^3$ | 11070/<br>$T_{2n}^3$ | 11070/<br>$T_{2n}^3$ | 11072/<br>$T_{2n}^3$ | 11072/<br>$T_{2n}^3$ | 11072/<br>$T_{2n}^2$ |
|--|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| SiO <sub>2</sub>                                 | 55.74               | 66.31                | 46.42               | 47.05               | 34.66               | 56.71               | 56.39               | 32.24               | 64.87                | 73.08                | 76.02                | 69.26                | 75.31                | 75.62                | 66.57                | 77.58                |
| TiO <sub>2</sub>                                 | 0.35                | 0.38                 | 0.47                | 0.22                | 0.21                | 0.99                | 0.27                | 0.23                | 0.52                 | 0.29                 | 0.14                 | 0.33                 | 0.12                 | 0.17                 | 0.72                 | 0.13                 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | 11.06               | 18.09                | 9.61                | 5.81                | 7.09                | 11.56               | 6.34                | 4.43                | 15.76                | 9.41                 | 6.17                 | 10.31                | 11.81                | 12.82                | 13.63                | 7.34                 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *                 | 2.70                | 3.96                 | 3.50                | 1.69                | 1.84                | 6.62                | 1.43                | 1.90                | 4.78                 | 2.04                 | 3.29                 | 3.20                 | 1.59                 | 2.32                 | 5.01                 | 1.29                 |
| MnO  | 0.04                | 0.05                 | 0.05                | 0.12                | 0.06                | 0.11                | 0.04                | 0.30                | 0.11                 | 0.09                 | 0.10                 | 0.13                 | 0.05                 | 0.03                 | 0.10                 | 0.10                 |
| MgO  | 1.45                | 1.43                 | 1.58                | 0.61                | 0.85                | 2.94                | 0.62                | 0.79                | 1.33                 | 0.71                 | 1.01                 | 1.10                 | 0.81                 | 0.29                 | 1.56                 | 0.45                 |
| CaO  | 19.96               | 8.04                 | 18.64               | 22.97               | 28.97               | 8.04                | 17.41               | 31.69               | 3.57                 | 5.17                 | 5.66                 | 5.96                 | 2.43                 | 0.59                 | 3.49                 | 5.15                 |
| Na <sub>2</sub> O                                | 1.94                | 1.91                 | 1.94                | 1.46                | 1.44                | 1.49                | 2.00                | 1.20                | 3.08                 | 2.88                 | 1.45                 | 1.76                 | 2.89                 | 2.11                 | 1.66                 | 1.46                 |
| K <sub>2</sub> O                                 | 5.86                | 4.15                 | 1.44                | 0.95                | 1.31                | 3.16                | 0.74                | 0.45                | 3.20                 | 1.24                 | 0.47                 | 1.41                 | 1.58                 | 4.67                 | 2.54                 | 1.47                 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                    | 0.08                | 0.13                 | 0.11                | 0.07                | 0.06                | 0.12                | 0.05                | 0.06                | 0.11                 | 0.06                 | 0.05                 | 0.08                 | 0.03                 | 0.01                 | 0.16                 | 0.05                 |
| 灼量   | 1.28                | 2.78                 | 16.40               | 19.02               | 23.29               | 8.12                | 14.77               | 26.35               | 2.58                 | 5.16                 | 5.49                 | 6.37                 | 3.30                 | 1.26                 | 4.47                 | 5.01                 |
| 总量   | 100.4               | 107.23               | 100.1               | 99.97               | 99.78               | 99.86               | 100.0               | 99.64               | 99.91                | 100.13               | 99.85                | 99.91                | 99.92                | 99.89                | 99.91                | 100.03               |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> | 0.20                | 0.27                 | 0.21                | 0.12                | 0.20                | 0.20                | 0.11                | 0.14                | 0.24                 | 0.13                 | 0.08                 | 0.15                 | 0.16                 | 0.17                 | 0.20                 | 0.09                 |
| K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O               | 3.02                | 2.17                 | 0.74                | 0.65                | 0.91                | 2.12                | 0.37                | 0.38                | 1.04                 | 0.43                 | 0.32                 | 0.80                 | 0.55                 | 2.21                 | 1.53                 | 1.01                 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /                 | 0.51                | 1.82                 | 0.47                | 0.24                | 0.23                | 1.21                | 0.33                | 0.13                | 2.37                 | 1.17                 | 0.87                 | 1.34                 | 2.22                 | 4.75                 | 2.65                 | 1.11                 |

## 4.2.2 稀土及微量元素地球化学特征

地球化学系统中存在一些具有很好稳定性的微量元素或者稀土元素，在经历了风化剥蚀、搬运、沉积、成岩这一系列的地质作用之后任然能保持含量不变或者极其微小的变化，因此这些特征元素从某种程度上就可以代表了其源区的性质，能在一定程度上直接或者辅助示踪沉积过程和追踪物源区，并且通过反演地质史实，恢复还原其构造环境和沉积条件<sup>[81-87]</sup> (Bhatia, 1983, 1985, 1986; Crook, 1974; Cullers, 1994; 杨栋栋等, 2012)。闹仓坚沟组砂岩样品在微量元素蛛网图 (图 4.6a) 中表现出相对富集 Cs、Th、Li、Tb, 亏损 Nb、Pb。其中部分样品可能是因淋滤作用而导致 Sr 值偏低, 曲线整体呈规律性变化, 与上地壳微量元素含量基本一致。在图 4.6b 闹仓坚沟组砂岩球粒陨石标准化配分模式中, 稀土元素分配曲线均呈右倾, 出现明显的 Eu 元素的负异常 ( $\delta\text{Eu}$  为 0.3~0.84), LREE 相对富集, 其值为  $66.75 \times 10^{-6} \sim 213.82 \times 10^{-6}$ , 平均值为  $130.47 \times 10^{-6}$ ; HREE 相对亏损且分布平坦;  $\sum\text{LREE}/\sum\text{HREE}$  为 5.7~9.2, 平均值为 7.4, 比值较高。  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  为 5.9~

11.24, 平均值为 7.93,  $\text{La}_N/\text{Sm}_N$  为 2.72~5.68, 平均值为 3.93。  $\delta\text{Ce}$  为 0.74~0.97, 平均值为 0.89, 详值见附表 4.3。

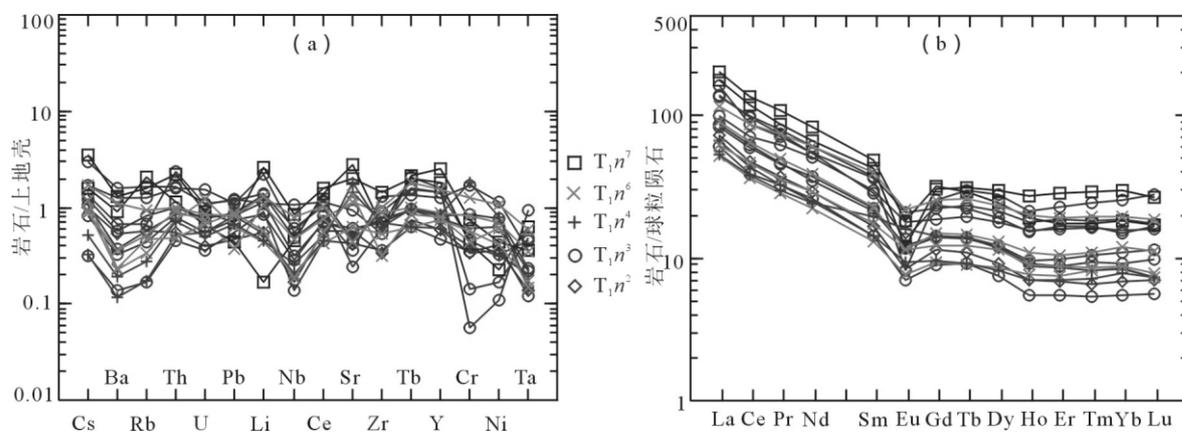


图 4.6 (a) 东昆仑南坡闹仓坚沟组砂岩上地壳标准化微量元素模式图 (上地壳标准化数据引自 Taylor, 1985) 和 (b) 球粒陨石标准化 REE 配分曲线图 (球粒陨石标准化数据引自 Boynton, 1984)

如图 4.7 为东昆仑东段南坡闹仓坚沟组砂岩砂岩与不同构造环境背景砂岩稀土元素纵向对比 (一、五、八段主要为碳酸盐岩, 因此未统计), 其中 La 和 Ce 纵向变化规律比较相似, 二、三、四段的物源构造背景摆动较为频繁;  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$ 、 $\text{La}/\text{Yb}$ 、 $\sum\text{REE}$  以及  $\sum\text{LREE}/\sum\text{HREE}$  纵向变化规律比较相似, 垂向上无明显的变化规律;  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  纵向变化图中显示, 多数样品的  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  值和活动大陆边缘标准值相近。结合表 4.4 闹仓坚沟组砂岩砂岩与不同构造环境背景砂岩稀土元素对比, 综合表明闹仓坚沟组砂岩的碎屑物质主要

来自于切割大陆岛弧以及活动大陆边缘，活动大陆边缘对应背景为基底隆起。

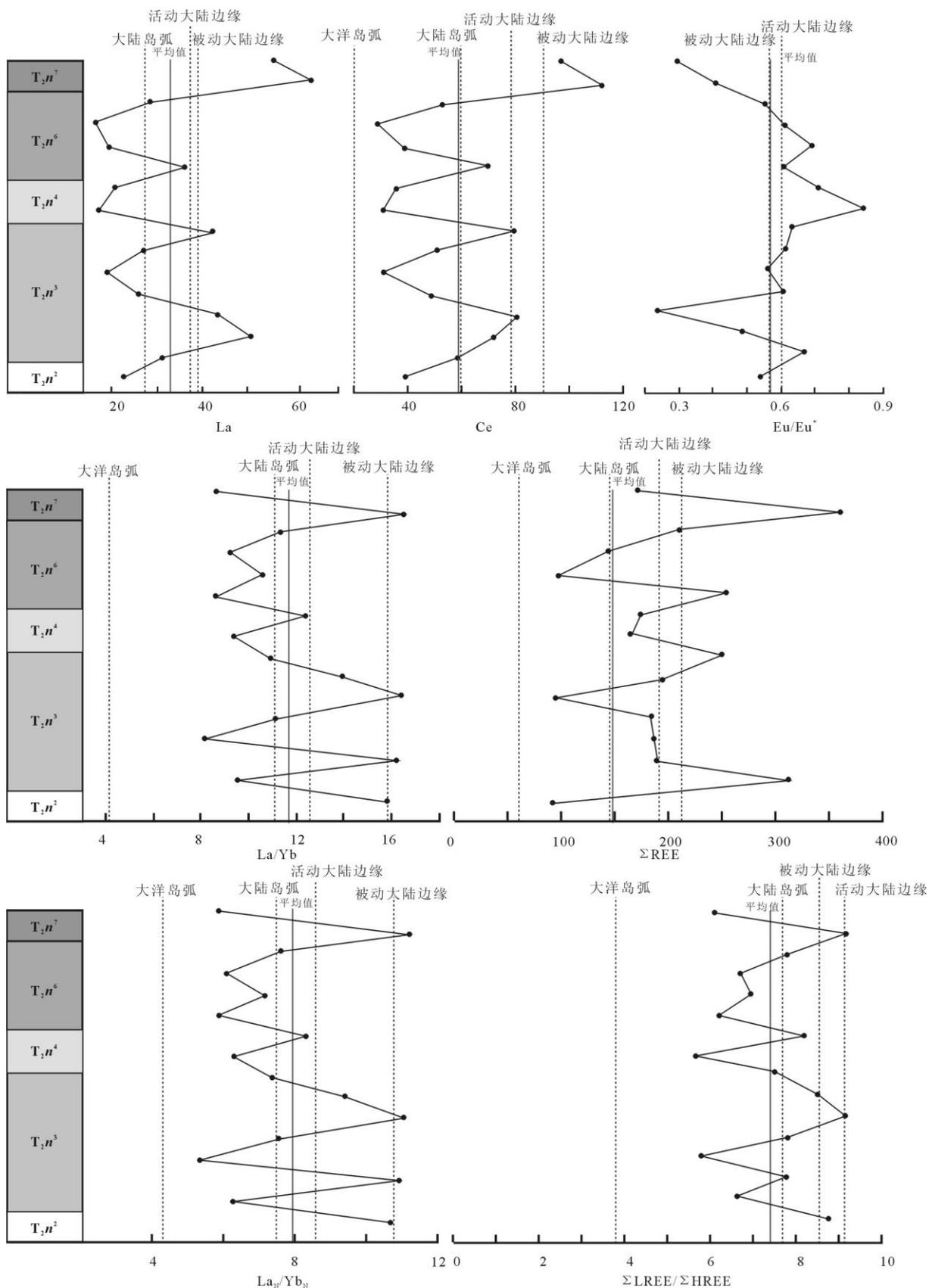


图 4.7 东昆仑东段南坡闹仓坚沟组砂岩与不同构造环境背景砂岩稀土元素特征对比

表 4.4 东昆仑南坡闹仓坚沟组砂岩与不同构造背景砂岩稀土元素特征比较

| 构造背景   | 物源类型  | 稀土元素参数 |        |              |         |                                  |                              |           |
|--------|-------|--------|--------|--------------|---------|----------------------------------|------------------------------|-----------|
|        |       | La     | Ce     | $\Sigma$ REE | La/Yb   | La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub> | $\Sigma$ LREE/ $\Sigma$ HREE | Eu/Eu*    |
| 大洋岛弧   | 未切割岛弧 | 8±1.7  | 19±3.7 | 58±10        | 4.2±1.3 | 4.2±1.3                          | 3.8±0.9                      | 1.01±0.11 |
| 大陆岛弧   | 切割岛弧  | 27±4.5 | 59±8.2 | 146±20       | 11±3.6  | 7.5±2.5                          | 7.7±1.7                      | 0.79±0.13 |
| 活动大陆边缘 | 基地隆起  | 37     | 78     | 186          | 12.5    | 8.5                              | 9.1                          | 0.6       |
| 被动大陆边缘 | 克拉通内部 | 39     | 85     | 210          | 15.9    | 10.8                             | 8.5                          | 0.56      |
| 研究区    | 闹仓坚沟组 | 32.63  | 58.17  | 148.52       | 11.76   | 7.93                             | 7.4                          | 0.56      |

表 4.3 东昆仑南坡闹仓坚沟组砂岩微量元素、稀土元素测试数据

| 样品号 | 11123/11                     | 11123/13 | 11128/3                      | 11128/5 | 11140/1 | 11140/4 | 11135/2                      | 11135/3 |
|-----|------------------------------|----------|------------------------------|---------|---------|---------|------------------------------|---------|
| 层位  | T <sub>2n</sub> <sup>7</sup> |          | T <sub>2n</sub> <sup>6</sup> |         |         |         | T <sub>2n</sub> <sup>4</sup> |         |
| Li  | 3.65                         | 55.90    | 23.50                        | 9.43    | 12.60   | 28.00   | 10.00                        | 11.50   |
| Be  | 3.26                         | 4.26     | 1.14                         | 0.67    | 0.81    | 1.28    | 0.90                         | 0.94    |
| Sc  | 7.59                         | 8.02     | 6.63                         | 2.97    | 4.01    | 12.30   | 3.24                         | 4.03    |
| V   | 52.20                        | 32.20    | 77.00                        | 40.50   | 66.90   | 148.00  | 38.30                        | 40.20   |
| Cr  | 27.90                        | 16.40    | 31.70                        | 21.90   | 16.60   | 48.30   | 15.30                        | 69.50   |
| Co  | 4.44                         | 2.46     | 4.74                         | 3.51    | 3.80    | 16.90   | 2.97                         | 5.76    |
| Ni  | 9.62                         | 4.99     | 15.00                        | 8.87    | 13.20   | 23.20   | 6.95                         | 17.30   |
| Cu  | 4.44                         | 2.71     | 14.60                        | 5.96    | 8.01    | 24.00   | 7.18                         | 9.07    |
| Zn  | 60.50                        | 59.90    | 63.10                        | 33.30   | 51.80   | 104.00  | 43.90                        | 48.20   |
| Ga  | 13.00                        | 22.00    | 11.00                        | 5.86    | 7.47    | 15.20   | 6.72                         | 4.34    |
| Rb  | 252.00                       | 196.00   | 63.60                        | 41.20   | 56.60   | 113.00  | 34.20                        | 21.20   |
| Sr  | 1041.00                      | 755.00   | 436.00                       | 239.00  | 514.00  | 166.00  | 553.00                       | 684.00  |
| Y   | 60.10                        | 43.00    | 21.30                        | 17.50   | 19.30   | 36.80   | 14.40                        | 20.50   |
| Nb  | 12.20                        | 22.80    | 12.60                        | 5.56    | 5.14    | 21.80   | 7.00                         | 5.52    |
| Mo  | 0.62                         | 0.19     | 0.19                         | 0.14    | 0.24    | 0.18    | 0.15                         | 0.20    |
| Cd  | 0.15                         | 0.07     | 0.12                         | 0.05    | 0.05    | 0.08    | 0.05                         | 0.11    |
| In  | 0.03                         | 0.07     | 0.04                         | 0.02    | 0.03    | 0.07    | 0.02                         | 0.02    |
| Sb  | 0.47                         | 1.10     | 0.40                         | 0.29    | 0.26    | 0.18    | 0.32                         | 0.40    |
| Cs  | 6.32                         | 13.90    | 3.55                         | 3.71    | 4.79    | 6.91    | 2.07                         | 1.33    |
| Ba  | 536.00                       | 776.00   | 217.00                       | 135.00  | 141.00  | 656.00  | 114.00                       | 70.00   |
| La  | 56.00                        | 64.20    | 28.60                        | 16.50   | 19.40   | 36.30   | 20.70                        | 16.80   |
| Ce  | 97.60                        | 112.00   | 53.60                        | 29.90   | 38.50   | 71.60   | 35.70                        | 31.40   |
| Pr  | 10.70                        | 13.50    | 6.20                         | 3.50    | 4.39    | 9.09    | 4.06                         | 3.71    |
| Nd  | 40.20                        | 50.30    | 23.70                        | 13.70   | 17.60   | 36.70   | 15.10                        | 15.00   |
| Sm  | 8.42                         | 9.57     | 4.50                         | 2.58    | 3.45    | 7.80    | 2.86                         | 3.89    |
| Eu  | 0.90                         | 1.36     | 0.86                         | 0.57    | 0.85    | 1.64    | 0.70                         | 1.19    |
| Gd  | 8.03                         | 8.45     | 3.90                         | 2.46    | 3.21    | 6.72    | 2.50                         | 3.76    |
| Tb  | 1.51                         | 1.39     | 0.71                         | 0.43    | 0.58    | 1.24    | 0.45                         | 0.67    |
| Hf  | 3.16                         | 5.38     | 2.90                         | 1.67    | 1.59    | 3.42    | 1.91                         | 1.50    |
| Dy  | 9.11                         | 7.35     | 3.97                         | 2.58    | 3.46    | 7.05    | 2.52                         | 3.55    |
| Ho  | 1.99                         | 1.38     | 0.80                         | 0.56    | 0.65    | 1.45    | 0.51                         | 0.64    |

| 样品号                  | 11123/11 | 11123/13 | 11128/3  | 11128/5 | 11140/1 | 11140/4  | 11135/2 | 11135/3 |
|----------------------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 层位                   | $T_2n^7$ |          | $T_2n^6$ |         |         | $T_2n^4$ |         |         |
| Er                   | 6.01     | 3.76     | 2.25     | 1.61    | 1.88    | 4.10     | 1.49    | 1.81    |
| Tm                   | 0.96     | 0.58     | 0.36     | 0.27    | 0.28    | 0.64     | 0.24    | 0.27    |
| Yb                   | 6.35     | 3.85     | 2.52     | 1.80    | 1.84    | 4.15     | 1.68    | 1.79    |
| Lu                   | 0.86     | 0.55     | 0.36     | 0.24    | 0.25    | 0.61     | 0.24    | 0.24    |
| Ta                   | 0.87     | 1.50     | 0.82     | 0.41    | 0.36    | 1.43     | 0.49    | 0.36    |
| W                    | 1.36     | 1.01     | 1.05     | 0.86    | 0.70    | 1.38     | 0.85    | 1.06    |
| Re                   | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00    | 0.00    | 0.00     | 0.00    | 0.00    |
| Tl                   | 0.60     | 1.24     | 0.36     | 0.29    | 0.44    | 0.71     | 0.20    | 0.13    |
| Pb                   | 9.50     | 15.30    | 8.00     | 13.70   | 18.80   | 18.00    | 14.60   | 17.80   |
| Bi                   | 0.12     | 0.30     | 0.17     | 0.09    | 0.20    | 0.13     | 0.09    | 0.16    |
| Th                   | 13.10    | 25.40    | 10.40    | 8.57    | 5.72    | 11.80    | 8.24    | 5.97    |
| U                    | 1.97     | 2.79     | 2.25     | 3.72    | 2.03    | 2.55     | 1.54    | 1.70    |
| Zr                   | 131.54   | 301.03   | 180.63   | 112.40  | 66.02   | 205.35   | 143.01  | 130.92  |
| $\Sigma$ REE         | 175.23   | 358.70   | 209.97   | 144.52  | 99.17   | 252.30   | 173.17  | 162.85  |
| (La/Yb) <sub>N</sub> | 5.95     | 11.24    | 7.65     | 6.18    | 7.11    | 5.90     | 8.31    | 6.33    |
| (La/Sm) <sub>N</sub> | 4.18     | 4.22     | 4.00     | 4.02    | 3.54    | 2.93     | 4.55    | 2.72    |
| $\delta$ Eu          | 0.30     | 0.41     | 0.55     | 0.61    | 0.69    | 0.61     | 0.71    | 0.84    |
| $\delta$ Ce          | 0.90     | 0.87     | 0.93     | 0.90    | 0.97    | 0.92     | 0.88    | 0.92    |

续上表

| 样品号 | 11070/02 | 11070/07 | 11070/19 | 11070/24 | 11070/25 | 11072/01 | 11072/04 | 11072/15 |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 层位  | $T_2n^3$ |          |          |          |          |          |          | $T_2n^2$ |
| Li  | 47.60    | 18.40    | 19.40    | 24.50    | 23.90    | 30.60    | 29.10    | 12.10    |
| Be  | 1.87     | 0.60     | 0.53     | 1.19     | 1.55     | 1.71     | 0.95     | 0.70     |
| Sc  | 11.60    | 4.89     | 2.33     | 6.51     | 5.19     | 5.12     | 10.00    | 3.30     |
| V   | 96.20    | 40.10    | 28.50    | 43.30    | 16.40    | 16.50    | 69.50    | 31.30    |
| Cr  | 17.00    | 23.10    | 13.30    | 32.80    | 2.16     | 5.36     | 64.00    | 12.70    |
| Co  | 9.62     | 6.31     | 6.20     | 6.73     | 1.24     | 1.26     | 11.60    | 3.30     |
| Ni  | 7.15     | 13.60    | 8.91     | 16.60    | 2.38     | 3.63     | 24.60    | 7.89     |
| Cu  | 13.00    | 9.65     | 6.02     | 10.50    | 2.89     | 5.50     | 26.40    | 4.84     |
| Zn  | 77.50    | 44.10    | 42.50    | 47.00    | 50.30    | 43.60    | 107.00   | 28.80    |
| Ga  | 20.40    | 9.91     | 6.14     | 12.70    | 16.00    | 18.20    | 14.40    | 8.75     |
| Rb  | 154.00   | 54.10    | 20.60    | 70.20    | 83.20    | 200.00   | 99.50    | 69.60    |
| Sr  | 174.00   | 207.00   | 162.00   | 229.00   | 352.00   | 93.60    | 139.00   | 215.00   |
| Y   | 34.20    | 18.30    | 11.30    | 19.60    | 38.50    | 34.20    | 29.90    | 14.10    |
| Nb  | 14.90    | 7.82     | 3.79     | 8.68     | 29.50    | 16.50    | 13.10    | 4.63     |
| Mo  | 0.64     | 0.21     | 0.02     | 0.18     | 0.08     | 0.06     | 0.25     | 0.00     |
| Cd  | 0.09     | 0.01     | 0.00     | 0.04     | 0.04     | 0.06     | 0.03     | 0.00     |
| In  | 0.06     | 0.03     | 0.01     | 0.04     | 0.07     | 0.06     | 0.05     | 0.01     |
| Sb  | 0.94     | 0.72     | 0.29     | 0.47     | 0.37     | 0.19     | 0.37     | 0.35     |
| Cs  | 6.73     | 3.28     | 1.25     | 4.34     | 5.34     | 11.80    | 4.95     | 3.97     |
| Ba  | 762.00   | 196.00   | 83.00    | 223.00   | 406.00   | 937.00   | 341.00   | 322.00   |

| 样品号                  | 11070/02 | 11070/07 | 11070/19 | 11070/24 | 11070/25 | 11072/01 | 11072/04 | 11072/15 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 层位                   | $T_2n^3$ |          |          |          |          |          |          | $T_2n^2$ |
| La                   | 43.00    | 27.30    | 19.00    | 25.80    | 43.60    | 50.90    | 31.30    | 22.70    |
| Ce                   | 81.00    | 50.60    | 31.80    | 48.40    | 80.10    | 71.10    | 58.00    | 39.40    |
| Pr                   | 9.84     | 5.79     | 4.06     | 5.68     | 9.21     | 8.83     | 7.65     | 4.57     |
| Nd                   | 37.20    | 21.20    | 16.00    | 22.70    | 33.40    | 32.80    | 31.10    | 17.80    |
| Sm                   | 7.30     | 4.20     | 2.84     | 4.43     | 7.28     | 5.64     | 5.88     | 3.31     |
| Eu                   | 1.55     | 0.88     | 0.53     | 0.91     | 0.61     | 1.03     | 1.32     | 0.63     |
| Gd                   | 5.91     | 3.67     | 2.35     | 3.75     | 6.76     | 6.15     | 4.90     | 2.99     |
| Tb                   | 1.12     | 0.66     | 0.44     | 0.68     | 1.43     | 1.08     | 0.94     | 0.52     |
| Hf                   | 4.27     | 2.63     | 1.34     | 2.97     | 4.19     | 4.05     | 4.44     | 1.40     |
| Dy                   | 6.49     | 3.62     | 2.27     | 3.69     | 8.47     | 5.76     | 5.48     | 2.78     |
| Ho                   | 1.31     | 0.67     | 0.40     | 0.70     | 1.56     | 1.11     | 1.13     | 0.51     |
| Er                   | 3.94     | 1.86     | 1.16     | 2.08     | 4.81     | 3.55     | 3.40     | 1.45     |
| Tm                   | 0.60     | 0.31     | 0.18     | 0.35     | 0.81     | 0.55     | 0.54     | 0.22     |
| Yb                   | 3.94     | 1.96     | 1.16     | 2.32     | 5.38     | 3.15     | 3.33     | 1.44     |
| Lu                   | 0.57     | 0.32     | 0.18     | 0.37     | 0.90     | 0.55     | 0.52     | 0.23     |
| Ta                   | 1.08     | 0.53     | 0.29     | 0.57     | 2.23     | 1.16     | 0.86     | 0.33     |
| W                    | 2.74     | 0.99     | 0.64     | 1.04     | 0.83     | 1.67     | 1.58     | 0.64     |
| Re                   | 0.01     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.01     | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| Tl                   | 0.93     | 0.36     | 0.12     | 0.38     | 0.58     | 1.58     | 0.55     | 0.42     |
| Pb                   | 24.00    | 16.20    | 12.10    | 17.90    | 26.80    | 26.00    | 19.00    | 10.20    |
| Bi                   | 0.63     | 0.13     | 0.19     | 0.23     | 0.68     | 0.65     | 0.42     | 0.20     |
| Th                   | 18.60    | 9.18     | 5.36     | 9.72     | 27.40    | 19.30    | 11.60    | 6.37     |
| U                    | 4.61     | 1.70     | 1.08     | 2.54     | 3.22     | 3.31     | 2.33     | 1.21     |
| Zr                   | 185.00   | 160.00   | 74.00    | 145.00   | 111.00   | 127.00   | 265.00   | 70.00    |
| $\Sigma$ REE         | 247.96   | 194.22   | 96.88    | 183.20   | 186.20   | 189.59   | 310.26   | 93.21    |
| (La/Yb) <sub>N</sub> | 7.36     | 9.39     | 11.04    | 7.50     | 5.46     | 10.89    | 6.34     | 10.63    |
| (La/Sm) <sub>N</sub> | 3.71     | 4.09     | 4.21     | 3.66     | 3.77     | 5.68     | 3.35     | 4.31     |
| $\delta$ Eu          | 0.64     | 0.61     | 0.55     | 0.60     | 0.24     | 0.47     | 0.66     | 0.54     |
| $\delta$ Ce          | 0.91     | 0.92     | 0.83     | 0.92     | 0.92     | 0.74     | 0.88     | 0.88     |

#### 4.2.3 物源区构造环境及属性分析

##### 1、风化条件及古气候

沉积岩的碎屑物质来源主要是其物源区母岩的风化产物，不同的矿物具有不同程度的抗风化能力。所以可以通过 CIA（化学蚀变指数）来判别物源区和沉积地区的化学风化程度<sup>[90,91]</sup>（Nesbitt et al., 1982, 1989），其中  $CIA = [ (Al_2O_3) / (CaO^* + Al_2O_3 + K_2O + Na_2O) ] \times 100$ ，式中氧化物均指摩尔浓度，CaO\*表示仅指硅酸盐中的 CaO，而不是碳酸盐中  $Ca^{2+}$  含量。Bock 等（1998）提出：当  $CaO \leq Na_2O$  含量时， $CaO = CaO^*$ ；当  $CaO > Na_2O$  含量时， $Na_2O = CaO^*$ 。一般认为 CIA 值和物源区岩石遭受的化学风化程

度成正比，当 CIA 值在 50 左右时表示原岩化学风化程度极低或者未发生化学风化。图 4.8 能够直观地显示出沉积物的风化趋势和风化程度，闹仓坚沟组砂岩样品 CIA 值在 57~70 之间，平均为 63，具有较弱的化学风化，属于初级风化阶段，风化程度随着沉积物搬运距离增大而变强 [92,93,94] (McLennan, 1989; McLennan et al., 1995, 1993)，表明闹仓坚沟组砂岩属于近源搬运沉积。图 4.8 中趋势线（虚线）与 A-CN 轴相交于英云闪长岩和花岗闪长岩之间，说明其母岩具有较高的斜长石含量。

### 2、源区构造环境判别

沉积岩的地球化学特征主要反映其物源区的性质，因而通过研究沉积物的地球化学特征就可以反演和恢复其源区的构造属性及地质条件。 $K_2O/Na_2O-SiO_2$  图解用来判别不同板块构造环境下所形成的砂岩 [95,96] (Roser et al.1986, 1988)。如图 4.9 为闹仓坚沟组  $K_2O/Na_2O-SiO_2$  图解，其中 4 件样品因  $SiO_2$  太低而投出图外，10 件样品均投入到活动大陆边缘区域，仅有 2 件分别投入被动大陆边缘和大洋岛弧。说明其物源区的构造属性主要为活动大陆边缘。

为了进一步分析其源区构造属性，利用 La, Th, Sc, Co, Zr 等具有更强稳定性的元素为端元组成的三角构造环境判别图解，如图 4.10，在 La-Th 图解中，闹仓坚沟组砂岩样品主要投入到大陆岛弧区域；在 La-Th-Sc 图解中砂岩样品全部落入大陆边缘区域；Th-Co-Zr/10 图解中砂岩样品主要落在大陆岛弧和活动大陆边缘区域，仅有 1 件样品投入到被动大陆边缘区域；Th-Sc-Zr/10 图解中显示砂岩样品主要落入

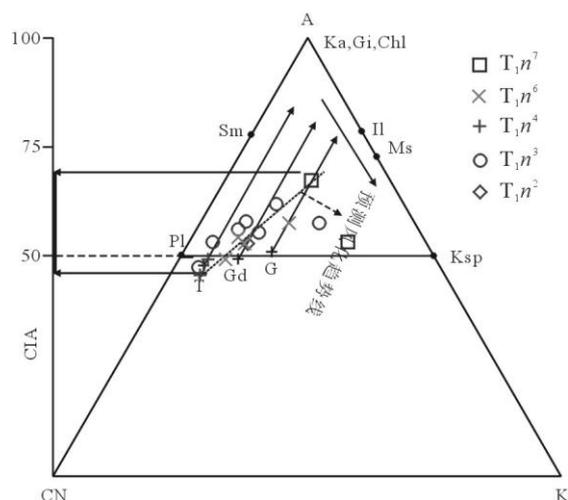


图 4.8 东昆仑南坡闹仓坚沟组砂岩 A-CN-K 图解

Ka—高岭石；Gi—水铝石；Chi—绿泥石；Sm—蒙脱石；Il—伊利石；Ms—白云母；Pl—斜长石；Ksp—钾长石；T—英云闪长岩；Gd—花岗闪长岩；G—花岗岩

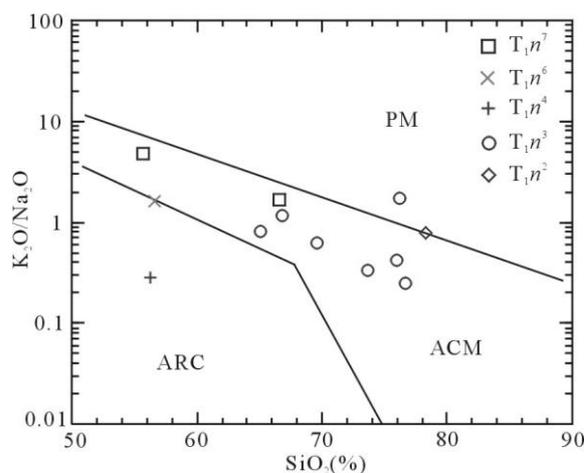


图 4.9 东昆仑南坡闹仓坚沟组砂岩

$SiO_2-K_2O/Na_2O$  图解 (据 Roser et al, 1986)

PM—被动大陆边缘；ACM—活动大陆边缘；ARC—大洋岛弧

大陆岛弧和活动大陆边缘区域，仅有 1 件样品投入到被动大陆边缘区域。综上所述，东昆仑南缘闹仓坚沟组砂岩主要物源类型属于大陆岛弧，部分为大陆边缘。

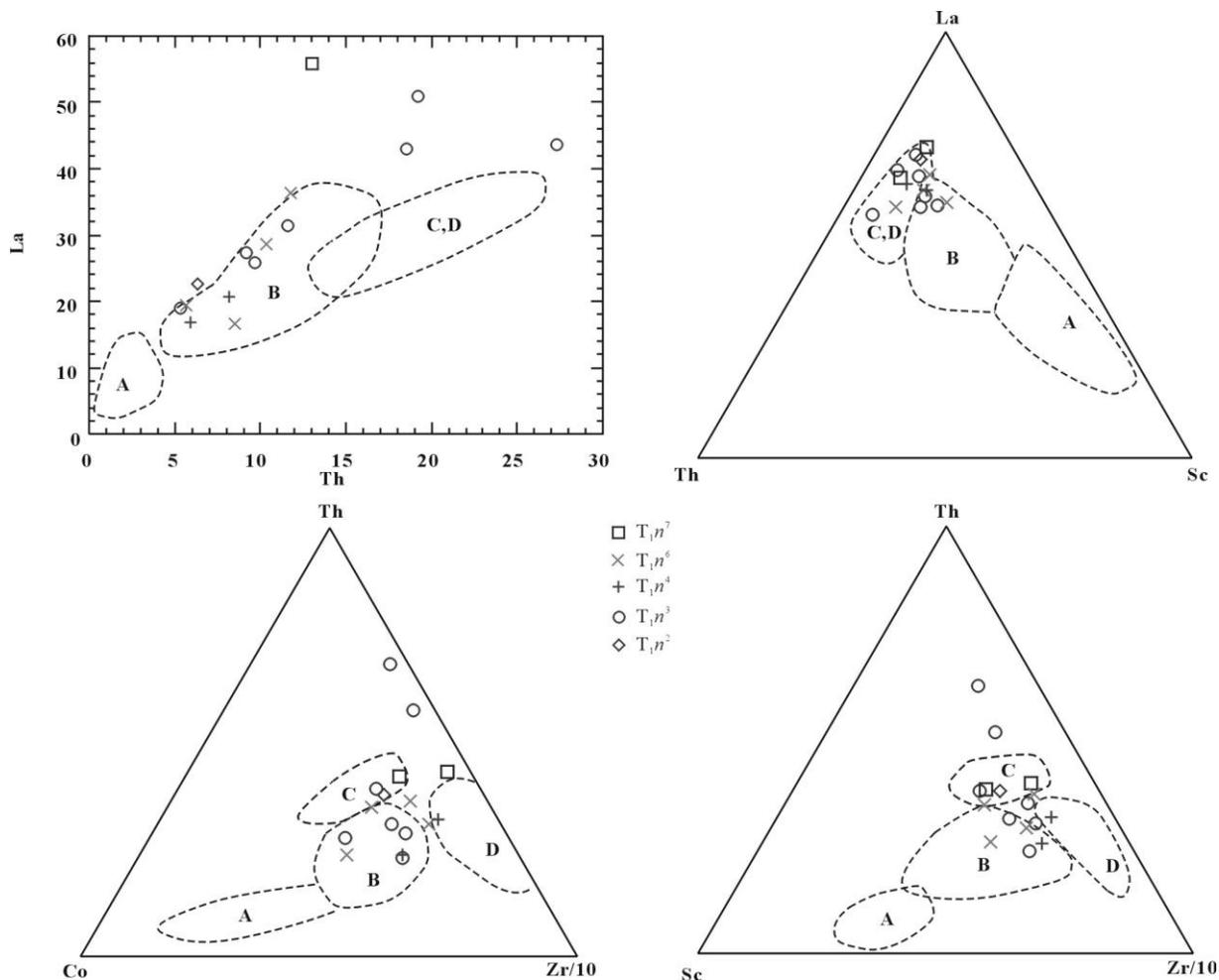


图 4.10 东昆仑南坡闹仓坚沟组砂岩构造判别图解（据 Bhatia, 1986）

A—大洋岛弧；B—大陆岛弧；C—活动大陆边缘；D—被动大陆边缘

利用 La/Th-Hf 原岩属性判别图解和 La/Sc-Co/Th 图解更加深入了解源区属性和源岩的性质。由图 4.11 可以看出，闹仓坚沟组沉积地层的源岩主要为上地壳，部分为长英质岩石和混合长英质/基性岩石。图 4.11 (La/Sc-Co/Th 图解) 显示，闹仓坚沟组砂岩样品源区母岩主要由花岗闪长岩向长英质火山岩的过渡。由以上可以得出，闹仓坚沟组沉积地层的碎屑物质主要为上地壳的花岗闪长岩向长英质火山岩过渡，物源区构造背景为活动大陆边缘和大陆岛弧，联系区域地质背景确定物源区构造背景主要为晚海西—早印支期安第斯型“陆缘弧”，其次为东昆仑东段加里东期岩浆岛弧。

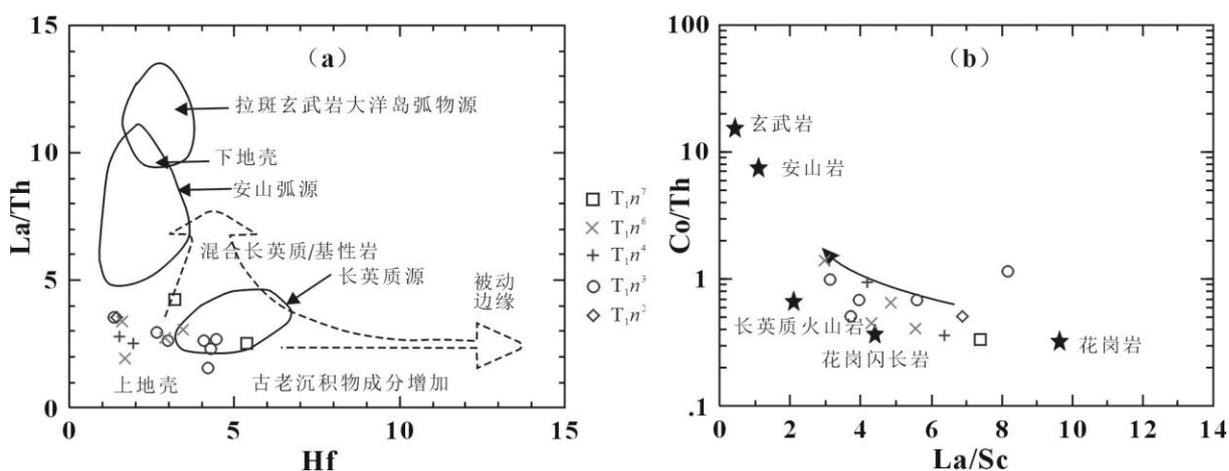


图 4.11 东昆仑南坡闹仓坚沟组 La/Th-Hf (a) (据 Floyd, 1987) 和 La/Sc-Co/Th (b) 源岩属性判别图解 (据 Gu, 2002)

### 4.3 砂岩 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 同位素年龄及物源分析

沉积盆地的碎屑物质不仅携带了大量构造演化过程和沉积过程的信息，更是物源区和沉积盆地有机结合配置的直接证据。碎屑锆石是碎屑岩中一种重要的示踪矿物，它不仅分布广泛，记录了大量有关物源区的信息，而且还具有较好的稳定性，并且其形态也能一定程度反映形成环境。本次研究工作在东昆仑东段南坡闹仓坚沟组采集了一套用于测年的样品，该样品采自于都兰县香加乡科科可特地区宝日禾日俄沟—托索河闹仓坚沟组第二段，岩性为浅灰绿色薄层状粗砂岩，样品编号为 11072/15。

#### 4.3.1 碎屑锆石的形貌学特征

从宝日禾日俄沟—托索河剖面闹仓坚沟组浅灰绿色薄层状粗砂岩样品 11072/15 中选取部分具有代表性锆石 CL 图像，锆石多数呈无色透明—浅黄色透明，主要为短柱状，只有少数为长柱状以及极少部份的不规则状，锆石的粒径多数在 60~180 $\mu\text{m}$  之间 (图 4.12)，由于经过一定距离的搬运，大多数锆石都遭受不同程度的磨圆。碎屑锆石阴极发光图像显示出其成因复杂，具有岩浆韵律的典型环带结构或条带状结构，属于岩浆结晶产物。本文所测锆石的 Th/U 比值为 0.15~1.09，Th/U 比值大于 0.4 的占 77%，表明闹仓坚沟组碎屑锆石基本为岩浆成因锆石<sup>[98,99]</sup> (Hoskin P W O, 2002, Belousova E A, 2002)。总体来说，样品中锆石主要为岩浆成因，极少数锆石显示有残余的核部，部分锆石则具有浅色窄边的变质增生边，核部和边部截然不同，显示出岩浆韵律环带特征，说明这些锆石属于继承锆石。从碎屑锆石形貌学上来看，样品中锆石成因具有复杂性，而具有复杂成因的碎屑锆石直接说明了其物源的复杂性。

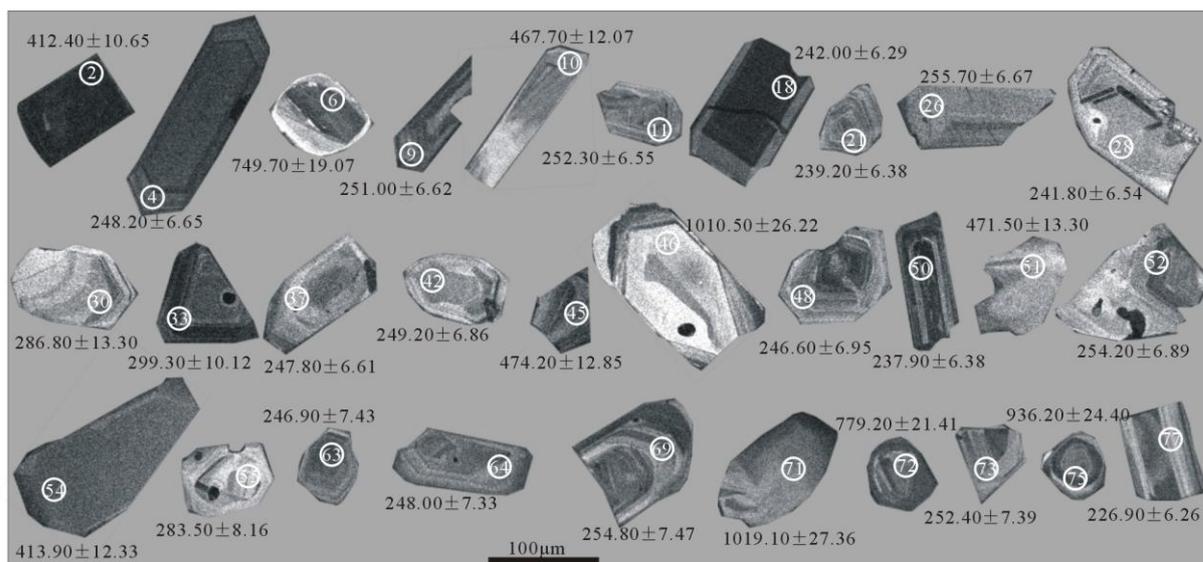


图 4.12 闹仓坚沟组砂岩样品 (11072/15) 代表性锆石 CL 图像、测定编号及年龄值

#### 4.3.2 碎屑锆石年龄谱特征

共对样品 (11072/15) 同位素测年了 78 颗锆石, 测试结果见附表 4.4。其中测得最年轻和最古老年龄分别为  $(226.90 \pm 6.26)$  Ma 和  $(1092.50 \pm 29.82)$  Ma。如图 4.13a 可以看出大多数锆石都具有谐和年龄, 部分锆石可能发生 Pb 丢失。由图 4.13b 可以看出闹仓坚沟组砂岩样品 (11072/15) 碎屑锆石年龄可分为四个年龄段: 226~324Ma、372~576Ma、749~936Ma、1010~1092Ma。其中 226~324Ma 年龄段有 46 颗锆石, 峰值为 247Ma, 占总体的 59%; 372~576Ma 年龄段有 22 颗锆石, 峰值为 425Ma, 约占总数的 28%; 749~936Ma 年龄段有 7 颗锆石, 可以分为两个亚组 749~779Ma 和 879~936Ma 峰值分别为 756Ma 和 900Ma, 占总数的 9%; 1010~1092Ma 年龄段有 3 颗锆石, 峰值为 1013Ma, 占总数的 4%。

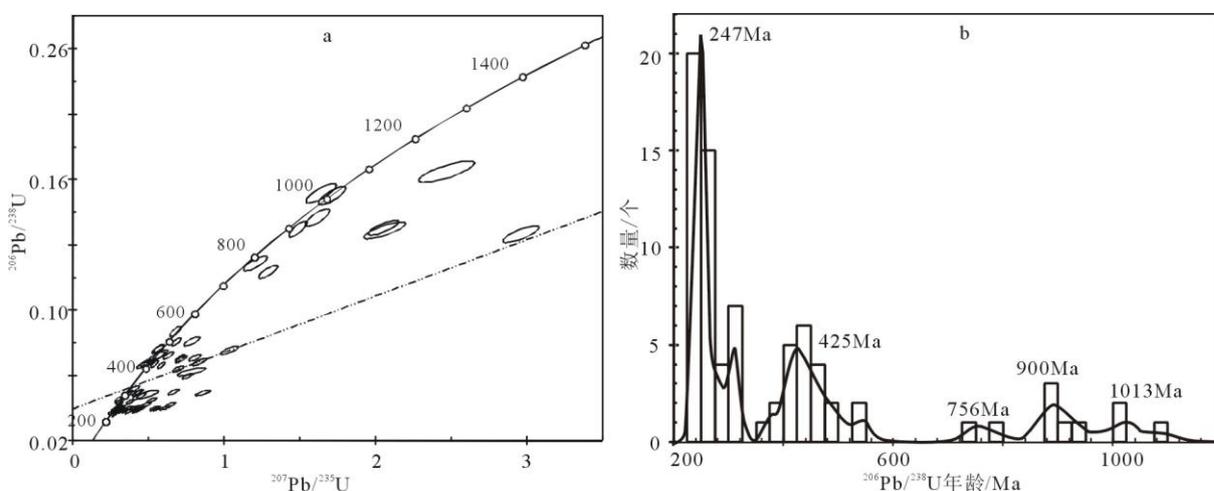


图 4.13 闹仓坚沟组砂岩样品 (11072/15) 锆石 U-Pb 谐和图与年龄直方图

表 4.4 东昆仑南坡闹仓坚沟组砂岩样品 (11072/15) LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 同位素分析结果表

| 点号 | 同位素比值                                |        |                                     |        |                                     |        | 同位素年龄/Ma                             |        |                                     |       |                                     |       | <sup>206</sup> Pb | <sup>232</sup> Th | <sup>238</sup> U | Th/U |
|----|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|-------------------|-------------------|------------------|------|
|    | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | 1σ     | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | 1σ     | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | 1σ     | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | 1σ     | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | 1σ    | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | 1σ    | 10 <sup>-6</sup>  | 10 <sup>-6</sup>  | 10 <sup>-6</sup> |      |
| 1  | 0.0619                               | 0.0020 | 0.6865                              | 0.0258 | 0.0804                              | 0.0022 | 669.40                               | 69.08  | 530.70                              | 15.53 | 498.50                              | 13.03 | 79                | 172               | 244              | 0.70 |
| 2  | 0.0641                               | 0.0017 | 0.5842                              | 0.0187 | 0.0661                              | 0.0018 | 743.20                               | 53.72  | 467.10                              | 12.01 | 412.40                              | 10.65 | 377               | 462               | 1424             | 0.32 |
| 3  | 0.0630                               | 0.0033 | 0.3776                              | 0.0206 | 0.0434                              | 0.0012 | 707.00                               | 106.59 | 325.20                              | 15.16 | 274.00                              | 7.66  | 35                | 101               | 199              | 0.51 |
| 4  | 0.0588                               | 0.0023 | 0.3187                              | 0.0139 | 0.0393                              | 0.0011 | 558.40                               | 83.22  | 280.90                              | 10.69 | 248.20                              | 6.65  | 77                | 159               | 489              | 0.33 |
| 5  | 0.0649                               | 0.0023 | 0.3437                              | 0.0142 | 0.0383                              | 0.0010 | 770.10                               | 74.25  | 300.00                              | 10.69 | 242.60                              | 6.44  | 84                | 392               | 542              | 0.72 |
| 6  | 0.0757                               | 0.0026 | 1.2902                              | 0.0511 | 0.1233                              | 0.0033 | 1087.10                              | 66.48  | 841.40                              | 22.66 | 749.70                              | 19.07 | 220               | 272               | 442              | 0.62 |
| 7  | 0.1276                               | 0.0055 | 0.8606                              | 0.0417 | 0.0488                              | 0.0014 | 2065.20                              | 74.61  | 630.50                              | 22.75 | 307.20                              | 8.40  | 36                | 103               | 180              | 0.57 |
| 8  | 0.0725                               | 0.0025 | 0.3963                              | 0.0166 | 0.0396                              | 0.0011 | 998.90                               | 68.32  | 338.90                              | 12.06 | 250.30                              | 6.50  | 176               | 595               | 1092             | 0.54 |
| 9  | 0.0980                               | 0.0039 | 0.5375                              | 0.0248 | 0.0397                              | 0.0011 | 1587.00                              | 71.80  | 436.80                              | 16.37 | 251.00                              | 6.62  | 76                | 196               | 470              | 0.42 |
| 10 | 0.1001                               | 0.0039 | 1.0394                              | 0.0480 | 0.0753                              | 0.0020 | 1625.60                              | 70.57  | 723.60                              | 23.91 | 467.70                              | 12.07 | 90                | 181               | 294              | 0.62 |
| 11 | 0.1105                               | 0.0041 | 0.6083                              | 0.0275 | 0.0399                              | 0.0011 | 1807.60                              | 65.88  | 482.50                              | 17.38 | 252.30                              | 6.55  | 113               | 341               | 691              | 0.49 |
| 12 | 0.4875                               | 0.0163 | 5.9566                              | 0.2569 | 0.0887                              | 0.0023 | 4203.80                              | 48.63  | 1969.50                             | 37.49 | 547.60                              | 13.72 | 403               | 459               | 1111             | 0.41 |
| 13 | 0.0709                               | 0.0036 | 0.7870                              | 0.0422 | 0.0805                              | 0.0023 | 953.90                               | 100.69 | 589.50                              | 23.96 | 499.20                              | 13.48 | 48                | 84                | 144              | 0.58 |
| 14 | 0.0743                               | 0.0027 | 0.7166                              | 0.0292 | 0.0699                              | 0.0019 | 1050.40                              | 71.62  | 548.60                              | 17.24 | 435.50                              | 11.19 | 214               | 431               | 737              | 0.59 |
| 15 | 0.0733                               | 0.0024 | 0.7088                              | 0.0271 | 0.0701                              | 0.0018 | 1021.70                              | 66.03  | 544.00                              | 16.08 | 436.90                              | 11.11 | 93                | 208               | 318              | 0.65 |
| 16 | 0.0833                               | 0.0048 | 0.4788                              | 0.0284 | 0.0417                              | 0.0012 | 1275.10                              | 108.19 | 397.30                              | 19.47 | 263.30                              | 7.48  | 50                | 185               | 285              | 0.65 |
| 17 | 0.0680                               | 0.0028 | 0.3696                              | 0.0165 | 0.0394                              | 0.0011 | 867.20                               | 82.15  | 319.30                              | 12.20 | 249.30                              | 6.54  | 53                | 140               | 323              | 0.43 |
| 18 | 0.0603                               | 0.0024 | 0.3180                              | 0.0138 | 0.0383                              | 0.0010 | 613.20                               | 82.56  | 280.40                              | 10.63 | 242.00                              | 6.29  | 222               | 605               | 1387             | 0.44 |
| 19 | 0.0665                               | 0.0041 | 0.3629                              | 0.0229 | 0.0396                              | 0.0011 | 821.40                               | 122.51 | 314.40                              | 17.06 | 250.10                              | 7.01  | 55                | 208               | 330              | 0.63 |
| 20 | 0.0709                               | 0.0033 | 0.3697                              | 0.0185 | 0.0378                              | 0.0010 | 954.10                               | 92.66  | 319.50                              | 13.72 | 239.20                              | 6.38  | 76                | 195               | 476              | 0.41 |
| 21 | 0.0621                               | 0.0024 | 0.3314                              | 0.0142 | 0.0387                              | 0.0010 | 677.10                               | 79.40  | 290.60                              | 10.79 | 244.60                              | 6.31  | 91                | 391               | 559              | 0.70 |
| 22 | 0.0734                               | 0.0032 | 0.4002                              | 0.0189 | 0.0395                              | 0.0011 | 1024.60                              | 85.53  | 341.80                              | 13.72 | 249.80                              | 6.59  | 56                | 133               | 335              | 0.40 |
| 23 | 0.0969                               | 0.0057 | 2.4705                              | 0.1505 | 0.1847                              | 0.0055 | 1565.80                              | 105.80 | 1263.40                             | 44.03 | 1092.50                             | 29.82 | 34                | 43                | 44               | 0.98 |
| 24 | 0.0814                               | 0.0051 | 0.4451                              | 0.0288 | 0.0396                              | 0.0012 | 1231.90                              | 118.48 | 373.90                              | 20.25 | 250.40                              | 7.16  | 60                | 290               | 358              | 0.81 |
| 25 | 0.1003                               | 0.0052 | 2.0601                              | 0.1127 | 0.1488                              | 0.0043 | 1630.20                              | 92.93  | 1135.70                             | 37.40 | 894.00                              | 23.87 | 45                | 67                | 71               | 0.94 |
| 26 | 0.0798                               | 0.0041 | 0.4208                              | 0.0227 | 0.0382                              | 0.0011 | 1191.20                              | 96.92  | 356.60                              | 16.25 | 241.80                              | 6.54  | 43                | 145               | 262              | 0.55 |
| 27 | 0.1112                               | 0.0045 | 0.6445                              | 0.0291 | 0.0420                              | 0.0011 | 1818.90                              | 72.01  | 505.10                              | 17.93 | 265.20                              | 6.99  | 42                | 220               | 237              | 0.93 |

## 第四章 东昆仑东段南坡中三叠统闹仓坚沟组物源分析

| 点号 | 同位素比值                                |        |                                     |        |                                     |        | 同位素年龄/Ma                             |        |                                     |       |                                     |       | <sup>206</sup> Pb | <sup>232</sup> Th | <sup>238</sup> U | Th/U |
|----|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|-------------------|-------------------|------------------|------|
|    | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | 1σ     | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | 1σ     | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | 1σ     | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | 1σ     | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | 1σ    | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | 1σ    | 10 <sup>-6</sup>  | 10 <sup>-6</sup>  | 10 <sup>-6</sup> |      |
| 28 | 0.0917                               | 0.0089 | 0.7827                              | 0.0760 | 0.0618                              | 0.0022 | 1461.20                              | 174.58 | 587.00                              | 43.27 | 386.80                              | 13.30 | 24                | 45                | 91               | 0.50 |
| 29 | 0.0991                               | 0.0033 | 2.0561                              | 0.0818 | 0.1504                              | 0.0039 | 1606.70                              | 61.49  | 1134.30                             | 27.16 | 903.00                              | 21.90 | 109               | 42                | 170              | 0.25 |
| 30 | 0.0891                               | 0.0037 | 0.8388                              | 0.0387 | 0.0682                              | 0.0018 | 1407.10                              | 76.95  | 618.50                              | 21.35 | 425.20                              | 10.93 | 51                | 100               | 176              | 0.57 |
| 31 | 0.0793                               | 0.0030 | 0.6995                              | 0.0304 | 0.0639                              | 0.0017 | 1180.30                              | 73.44  | 538.50                              | 18.17 | 399.30                              | 10.12 | 125               | 234               | 456              | 0.51 |
| 32 | 0.0821                               | 0.0032 | 0.4487                              | 0.0201 | 0.0396                              | 0.0010 | 1248.80                              | 75.28  | 376.40                              | 14.05 | 250.20                              | 6.44  | 75                | 257               | 439              | 0.59 |
| 33 | 0.0971                               | 0.0041 | 0.6643                              | 0.0312 | 0.0496                              | 0.0013 | 1568.60                              | 77.07  | 517.20                              | 19.04 | 312.00                              | 8.12  | 50                | 224               | 234              | 0.96 |
| 34 | 0.0768                               | 0.0032 | 0.4287                              | 0.0197 | 0.0405                              | 0.0011 | 1114.70                              | 80.69  | 362.30                              | 13.97 | 255.70                              | 6.67  | 48                | 115               | 279              | 0.41 |
| 35 | 0.0925                               | 0.0031 | 0.7594                              | 0.0303 | 0.0595                              | 0.0015 | 1477.00                              | 62.33  | 573.70                              | 17.49 | 372.70                              | 9.33  | 156               | 100               | 610              | 0.16 |
| 36 | 0.0791                               | 0.0041 | 0.4275                              | 0.0236 | 0.0392                              | 0.0011 | 1173.60                              | 98.42  | 361.40                              | 16.82 | 247.80                              | 6.61  | 36                | 172               | 210              | 0.82 |
| 37 | 0.0842                               | 0.0037 | 0.5198                              | 0.0256 | 0.0447                              | 0.0012 | 1297.80                              | 84.01  | 425.00                              | 17.10 | 282.10                              | 7.33  | 128               | 179               | 659              | 0.27 |
| 38 | 0.0827                               | 0.0029 | 0.8058                              | 0.0337 | 0.0706                              | 0.0018 | 1262.40                              | 67.40  | 600.10                              | 18.93 | 439.90                              | 10.94 | 108               | 313               | 353              | 0.89 |
| 39 | 0.0624                               | 0.0034 | 0.4225                              | 0.0238 | 0.0491                              | 0.0014 | 688.80                               | 112.16 | 357.80                              | 16.95 | 308.90                              | 8.78  | 33                | 117               | 165              | 0.71 |
| 40 | 0.0581                               | 0.0027 | 0.3156                              | 0.0152 | 0.0394                              | 0.0011 | 531.70                               | 97.49  | 278.50                              | 11.75 | 249.20                              | 6.86  | 38                | 231               | 237              | 0.98 |
| 41 | 0.0508                               | 0.0024 | 0.2688                              | 0.0134 | 0.0384                              | 0.0011 | 232.10                               | 105.32 | 241.70                              | 10.69 | 242.70                              | 6.66  | 71                | 151               | 453              | 0.33 |
| 42 | 0.1468                               | 0.0041 | 2.9597                              | 0.0974 | 0.1463                              | 0.0040 | 2308.60                              | 47.58  | 1397.30                             | 24.97 | 879.90                              | 22.50 | 419               | 223               | 700              | 0.32 |
| 43 | 0.0541                               | 0.0026 | 0.5690                              | 0.0283 | 0.0763                              | 0.0022 | 373.80                               | 102.33 | 457.40                              | 18.32 | 474.20                              | 12.85 | 156               | 131               | 499              | 0.26 |
| 44 | 0.0732                               | 0.0029 | 1.7119                              | 0.0726 | 0.1697                              | 0.0048 | 1018.30                              | 77.22  | 1013.00                             | 27.19 | 1010.50                             | 26.22 | 71                | 101               | 102              | 0.99 |
| 45 | 0.0561                               | 0.0044 | 0.5533                              | 0.0435 | 0.0715                              | 0.0023 | 455.90                               | 165.13 | 447.20                              | 28.45 | 445.40                              | 13.69 | 42                | 45                | 142              | 0.32 |
| 46 | 0.0579                               | 0.0031 | 0.3114                              | 0.0170 | 0.0390                              | 0.0011 | 526.60                               | 111.99 | 275.30                              | 13.19 | 246.60                              | 6.95  | 51                | 176               | 322              | 0.55 |
| 47 | 0.0693                               | 0.0037 | 0.4533                              | 0.0251 | 0.0475                              | 0.0014 | 906.90                               | 106.94 | 379.50                              | 17.55 | 298.90                              | 8.56  | 44                | 149               | 229              | 0.65 |
| 48 | 0.0547                               | 0.0020 | 0.2833                              | 0.0115 | 0.0376                              | 0.0010 | 398.20                               | 80.23  | 253.30                              | 9.11  | 237.90                              | 6.38  | 140               | 707               | 909              | 0.78 |
| 49 | 0.0541                               | 0.0031 | 0.5657                              | 0.0337 | 0.0759                              | 0.0022 | 374.00                               | 124.95 | 455.20                              | 21.86 | 471.50                              | 13.30 | 36                | 30                | 116              | 0.26 |
| 50 | 0.0531                               | 0.0022 | 0.2944                              | 0.0133 | 0.0402                              | 0.0011 | 332.50                               | 92.79  | 262.00                              | 10.44 | 254.20                              | 6.89  | 77                | 184               | 470              | 0.39 |
| 51 | 0.0510                               | 0.0042 | 0.2616                              | 0.0216 | 0.0372                              | 0.0012 | 240.50                               | 178.97 | 236.00                              | 17.36 | 235.50                              | 7.33  | 20                | 91                | 133              | 0.68 |
| 52 | 0.0505                               | 0.0037 | 0.4614                              | 0.0344 | 0.0663                              | 0.0020 | 216.60                               | 161.94 | 385.20                              | 23.86 | 413.90                              | 12.33 | 24                | 46                | 89               | 0.51 |
| 53 | 0.0484                               | 0.0031 | 0.3002                              | 0.0194 | 0.0450                              | 0.0013 | 119.90                               | 142.82 | 266.50                              | 15.17 | 283.50                              | 8.16  | 34                | 102               | 185              | 0.55 |
| 54 | 0.0720                               | 0.0020 | 1.4851                              | 0.0485 | 0.1497                              | 0.0040 | 985.50                               | 55.00  | 924.30                              | 19.81 | 899.00                              | 22.55 | 265               | 75                | 434              | 0.17 |
| 55 | 0.0517                               | 0.0039 | 0.3136                              | 0.0240 | 0.0440                              | 0.0014 | 272.90                               | 164.78 | 276.90                              | 18.54 | 277.40                              | 8.40  | 27                | 84                | 150              | 0.56 |
| 56 | 0.0572                               | 0.0037 | 0.4063                              | 0.0265 | 0.0515                              | 0.0016 | 498.00                               | 135.52 | 346.20                              | 19.10 | 324.00                              | 9.48  | 19                | 49                | 90               | 0.54 |

## 第四章 东昆仑东段南坡中三叠统闹仓坚沟组物源分析

| 点号 | 同位素比值                                |        |                                     |        |                                     |        | 同位素年龄/Ma                             |        |                                     |       |                                     |       | <sup>206</sup> Pb | <sup>232</sup> Th<br>10 <sup>-6</sup> | <sup>238</sup> U | Th/U |
|----|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|-------------------|---------------------------------------|------------------|------|
|    | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | 1σ     | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | 1σ     | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | 1σ     | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | 1σ     | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | 1σ    | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | 1σ    |                   |                                       |                  |      |
| 57 | 0.0635                               | 0.0029 | 0.4366                              | 0.0212 | 0.0499                              | 0.0014 | 726.00                               | 94.69  | 367.90                              | 14.96 | 313.60                              | 8.68  | 49                | 175                                   | 239              | 0.73 |
| 58 | 0.0572                               | 0.0026 | 0.3064                              | 0.0147 | 0.0388                              | 0.0011 | 499.90                               | 97.02  | 271.40                              | 11.39 | 245.60                              | 6.75  | 39                | 84                                    | 247              | 0.34 |
| 59 | 0.0529                               | 0.0024 | 0.2975                              | 0.0144 | 0.0408                              | 0.0011 | 324.30                               | 100.35 | 264.50                              | 11.25 | 257.80                              | 7.07  | 113               | 325                                   | 679              | 0.48 |
| 60 | 0.0635                               | 0.0029 | 0.6313                              | 0.0302 | 0.0721                              | 0.0020 | 726.20                               | 92.89  | 496.90                              | 18.77 | 448.60                              | 12.24 | 36                | 66                                    | 122              | 0.54 |
| 61 | 0.0550                               | 0.0037 | 0.2959                              | 0.0204 | 0.0391                              | 0.0012 | 410.70                               | 145.37 | 263.20                              | 15.99 | 246.90                              | 7.34  | 63                | 264                                   | 394              | 0.67 |
| 62 | 0.0506                               | 0.0035 | 0.2736                              | 0.0192 | 0.0392                              | 0.0012 | 222.60                               | 152.72 | 245.60                              | 15.34 | 248.00                              | 7.33  | 30                | 78                                    | 190              | 0.41 |
| 63 | 0.1015                               | 0.0034 | 0.5516                              | 0.0208 | 0.0394                              | 0.0011 | 1651.20                              | 61.63  | 446.10                              | 13.60 | 249.30                              | 6.76  | 58                | 388                                   | 358              | 1.09 |
| 64 | 0.0578                               | 0.0042 | 0.5786                              | 0.0424 | 0.0726                              | 0.0023 | 523.30                               | 151.72 | 463.60                              | 27.24 | 451.60                              | 13.62 | 34                | 59                                    | 113              | 0.52 |
| 65 | 0.0579                               | 0.0063 | 0.3056                              | 0.0329 | 0.0383                              | 0.0014 | 526.80                               | 222.37 | 270.70                              | 25.57 | 242.00                              | 8.69  | 12                | 46                                    | 79               | 0.58 |
| 66 | 0.0516                               | 0.0026 | 0.4784                              | 0.0251 | 0.0673                              | 0.0019 | 266.60                               | 111.06 | 396.90                              | 17.25 | 419.80                              | 11.53 | 63                | 101                                   | 231              | 0.44 |
| 67 | 0.0528                               | 0.0034 | 0.2934                              | 0.0194 | 0.0403                              | 0.0012 | 320.30                               | 140.77 | 261.30                              | 15.26 | 254.80                              | 7.47  | 41                | 85                                    | 247              | 0.34 |
| 68 | 0.0568                               | 0.0023 | 0.6788                              | 0.0297 | 0.0867                              | 0.0024 | 483.00                               | 87.61  | 526.10                              | 17.94 | 536.00                              | 14.26 | 141               | 62                                    | 397              | 0.15 |
| 69 | 0.0695                               | 0.0033 | 1.6408                              | 0.0822 | 0.1713                              | 0.0050 | 913.60                               | 95.00  | 986.00                              | 31.60 | 1019.10                             | 27.36 | 54                | 41                                    | 78               | 0.53 |
| 70 | 0.0681                               | 0.0034 | 1.2057                              | 0.0634 | 0.1285                              | 0.0038 | 870.80                               | 101.10 | 803.20                              | 29.19 | 779.20                              | 21.41 | 76                | 144                                   | 145              | 1.00 |
| 71 | 0.0583                               | 0.0037 | 0.3207                              | 0.0207 | 0.0399                              | 0.0012 | 538.70                               | 133.17 | 282.40                              | 15.89 | 252.40                              | 7.39  | 34                | 133                                   | 207              | 0.64 |
| 72 | 0.0590                               | 0.0020 | 0.5420                              | 0.0205 | 0.0667                              | 0.0018 | 566.10                               | 71.65  | 439.80                              | 13.48 | 416.10                              | 10.96 | 128               | 94                                    | 469              | 0.20 |
| 73 | 0.0750                               | 0.0029 | 1.6149                              | 0.0673 | 0.1563                              | 0.0044 | 1067.10                              | 75.04  | 976.00                              | 26.15 | 936.20                              | 24.40 | 191               | 54                                    | 300              | 0.18 |
| 74 | 0.0728                               | 0.0107 | 0.4819                              | 0.0693 | 0.0480                              | 0.0023 | 1008.00                              | 272.88 | 399.30                              | 47.48 | 302.40                              | 13.93 | 9                 | 27                                    | 47               | 0.58 |
| 75 | 0.0561                               | 0.0026 | 0.2771                              | 0.0134 | 0.0358                              | 0.0010 | 456.60                               | 99.04  | 248.40                              | 10.69 | 226.90                              | 6.26  | 60                | 206                                   | 410              | 0.50 |
| 76 | 0.0535                               | 0.0032 | 0.4961                              | 0.0305 | 0.0672                              | 0.0020 | 351.60                               | 129.04 | 409.10                              | 20.68 | 419.40                              | 11.88 | 44                | 76                                    | 160              | 0.48 |
| 77 | 0.0557                               | 0.0024 | 0.3784                              | 0.0175 | 0.0493                              | 0.0014 | 441.10                               | 93.06  | 325.90                              | 12.85 | 310.00                              | 8.44  | 116               | 326                                   | 579              | 0.56 |
| 78 | 0.0535                               | 0.0026 | 0.3075                              | 0.0155 | 0.0417                              | 0.0012 | 349.50                               | 104.74 | 272.20                              | 12.05 | 263.40                              | 7.28  | 76                | 154                                   | 444              | 0.35 |

### 4.3.3 碎屑锆石年龄谱信息

#### 1、晚海西—印支期年龄信息

在闹仓坚沟组砂岩样品（11072/15）所测锆石年龄中，226~324Ma 年龄段有 46 颗锆石，峰值为 247Ma，占总体的 59%，属于晚海西—印支期。该组年龄主要反映与晚古生代—早中生代古特提斯洋壳向北俯冲产生的构造岩浆活动相对应，对应东昆仑地区晚二叠世布青山—阿尼玛卿洋向北俯冲的一系列构造岩浆活动。李瑞保（2012）获得哈拉尕吐—哈图一带哈拉尕吐岩体花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $256 \pm 2$ Ma，闪长质包体年龄为  $255 \pm 3$ Ma<sup>[59]</sup>；陈国超（2014）在东昆仑东段哈图沟获得哈拉尕吐岩体花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $254.9 \pm 1.5$ Ma，其暗色微粒包体年龄为  $252.5 \pm 5.1$ Ma，于可可沙—香日德一带获得香加南山岩体花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄  $251.0 \pm 1.9$ Ma，暗色闪长质包体年龄  $252.8 \pm 3.0$ Ma，二长花岗岩  $246.4 \pm 3.9$ Ma<sup>[68]</sup>；裴先治等在香加南山花岗岩体中获得花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $247 \pm 5$ Ma，黑云母二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $246.6 \pm 4.0$ Ma，在加鲁河一带获得花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $261 \pm 3$ Ma（未刊资料）；裴先治等（2014）在得福胜闪长质片麻岩体中获得闪长质片麻岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $255.5 \pm 1.7$ Ma，在得福胜中基性杂岩体中获得辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄为  $239.1 \pm 2.2$ Ma<sup>[66]</sup>；孙雨等（2009）在可可沙地区哈拉尕吐沟获得花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 255Ma，闪长质包体年龄为 253Ma<sup>[101]</sup>；熊富浩等（2010）在东昆仑东段获得白日其利苏长辉长岩锆石 U-Pb 年龄为  $251 \pm 2$ Ma<sup>[102]</sup>；刘成东等（2004）在东昆仑造山带约格鲁地区获得的花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $242 \pm 6$ Ma、暗色微粒包体  $241 \pm 5$ Ma<sup>[103]</sup>，刘成东等（2008）获得格尔木地区闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 248Ma<sup>[104]</sup>；中国地质大学（武汉）在东昆仑造山带香日德地区获得花岗岩锆石 U-Pb 年龄为  $263.2 \pm 20.0$ Ma，在巴隆地区获得二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄为  $241 \pm 9$ Ma，在冬给措那湖地区获得花岗闪长岩和二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄分别为  $256.4 \pm 7.4$ Ma、 $251 \pm 1$ Ma<sup>[41]</sup>。

结合本次研究年龄谱信息和上述岩浆事件的年龄信息，充分说明了 226~324Ma 年龄段（峰值为 247Ma）与东昆仑地区古特提斯洋壳向北俯冲产生的构造岩浆活动的对应关系。东昆仑地区于泥盆纪—晚二叠世形成布青山—阿尼玛卿洋并扩张，晚二叠世布青山—阿尼玛卿洋开始向北俯冲形成了一系列的岩浆弧，证实了东昆仑造山带为闹仓坚沟组沉积地层提供物源的可能性。

## 2、加里东一早海西期年龄信息

在闹仓坚沟组砂岩样品 11072/15 所测锆石年龄中, 372~576Ma 年龄段有 22 颗锆石, 峰值为 425Ma, 约占总数的 28%, 年龄属于加里东一早海西期。该期年龄主要反映了早古生代东昆仑地区原特提斯洋壳向北俯冲挤压碰撞产生的构造岩浆事件, 东昆仑地区存在一系列因加里东期俯冲—碰撞而形成的侵入岩、火山岩及洋壳残片。裴先治通过研究可可沙地区的敦德沙尔裂解型郭勒角闪二长岩体, 获得其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄为  $546.2 \pm 3.8$ Ma, 在可可沙地区获得佬格么火儿中基性侵入体中辉长岩锆石 U-Pb 年龄为  $509 \pm 7$ Ma (未刊资料); 张亚峰等 (2010) 获得代表布青山—阿尼玛卿洋向北俯冲的可可沙石英闪长岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $515.2 \pm 4.4$ Ma<sup>[67]</sup>; 陆松年等 (2002) 于清水泉地区利用 TIMS 法获得辉长岩锆石 U-Pb 年龄为  $522.3 \pm 4.1$ Ma<sup>[110]</sup>; 冯建赟等 (2010) 在东昆中构造带清水泉可可沙—科科可特一带镁铁质—超镁铁质混杂岩带获得超镁铁岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $509.4 \pm 6.8$ Ma, 认为这可能代表了有限的古洋盆<sup>[77]</sup>。朱云海等 (2002) 通过研究获得东昆仑造山带诺木洪地区弧火山岩形成年龄为  $401 \pm 6$ Ma<sup>[70]</sup>。莫宣学等 (2007) 获得万宝沟花岗岩侵位年龄为 450Ma; 陈有炘等 (2013) 通过对东昆仑地区下古生界纳赤台岩群的研究, 获得其变质中基性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $474.0 \pm 7.9$ Ma, 代表了原岩形成的年龄<sup>[107]</sup>; 张耀玲等 (2010) 获得纳赤台岩群石灰厂组流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $450.4 \pm 4.3$ Ma, 为流纹岩形成时间<sup>[109]</sup>。Li 等 (2013) 获得和勒冈那仁碱长花岗岩体的结晶年龄为 423Ma, 并认为其属于后碰撞造山环境下的 A 型花岗岩<sup>[76]</sup>;

综合本次研究的年龄谱和上述岩浆事件年龄信息, 表明 372~576Ma 年龄段 (峰值为 425Ma) 对应了东昆仑地区原特提斯洋的构造演化。震旦纪末—早寒武世初东昆仑地区大陆初始裂解, 原特提斯洋形成并扩张, 在志留纪开始俯冲碰撞造山, 并形成了一系列与之对应的岩浆活动, 为闹仓坚沟组沉积地层提供物源奠定了基础。

## 3、新元古代年龄信息

在闹仓坚沟组砂岩样品 11072/15 所测锆石年龄中, 749~936Ma 年龄段有 7 颗锆石, 可以分为两个亚组 749~779Ma 和 879~936Ma 峰值分别为 756Ma 和 900Ma, 占总数的 9%, 属于新元古代年龄。结合区域资料, 认为受全球新元古代 Rodinia 超大陆汇聚和裂解事件的影响, 在东昆仑造山带产生了一系列新元古代构造岩浆活动。许荣华等 (1990) 获得东昆仑造山带万宝沟岩群中玄武岩 Rb-Sr 等时线年龄为  $667 \pm 21$ Ma<sup>[113]</sup>; 任军虎等 (2011) 利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年法分别在东昆仑造山带小庙岩组与金水口南侧

一带获得辉绿岩成岩年龄 601~855Ma 和辉长岩成岩年龄 780~830Ma<sup>[114]</sup>；据前人研究表明，东昆北构造带存在与晋宁期 Rodinia 超大陆汇聚时间相一致碰撞花岗岩浆岩，其年龄大于 0.91Ga<sup>[110,111,112]</sup>（陆松年等，2002，2003；陈能松等，2008）。甘彩红（2014）在夏日哈木地区获得黑云斜长片麻岩的原岩结晶年龄为 915.2±2.3Ma（MSWD=0.25），并认为其属于新元古代早期全球 Rodinia 超大陆汇聚事件的响应形成的岩浆岩<sup>[115]</sup>；裴先治等（未刊资料）获得于哈图一带分布的白沙河岩组中的花岗质片麻岩的原岩结晶年龄为 845±11Ma。孟繁聪等（2013）分别用 SHRIMP 与 LA-MC-ICP-MS 测年法，获得东昆仑祁漫塔格地区花岗质片麻岩锆石 U-Pb 年龄为 938±5Ma 与 938±2Ma，代表其原岩形成时间<sup>[116]</sup>；陆松年等（2002，2003）通过研究东昆仑造山带都兰县地区的花岗闪长质片麻岩及英云闪长质片麻岩，分别获得其锆石 U-Pb 年龄为 917±21Ma 与 987±93Ma，它们属于典型的 S 型花岗岩<sup>[110,111]</sup>；

结合上述岩浆事件，显示了 749~936Ma 年龄段与新元古代东昆仑地区受全球 Rodinia 超大陆汇聚和裂解事件的影响而产生的一系列新元古代构造岩浆活动的对应关系，也直接为闹仓坚沟组沉积地层提供了物源。

#### 4、中元古代年龄信息

在闹仓坚沟组砂岩样品 11072/15 所测锆石年龄中，1010~1092Ma 年龄段有 3 颗锆石，峰值为 1013Ma，占总数的 4%，属于中元古代年龄。从锆石 CL 图像中看出，该组锆石形态呈浑圆状和短柱状，磨圆较好，其中 11072/15/16 显示有弱的岩浆震荡环带。陈能松等（2006）在香日德南部白沙河岩组获得其形成年龄为 1.6~1.0Ga，认为全球 Rodinia 超大陆汇聚事件的发生时间可以提前至中元古代末，这说明东昆仑地区在中元古代末可能受到全球 Rodinia 超大陆汇聚事件而产生岩浆活动<sup>[117]</sup>。陆松年等（2003）研究认为在格林威尔造山运动中，Rodinia 超大陆是历经（1000~1300Ma）由东冈瓦纳、劳伦大陆、西伯利亚等大陆聚合而成一个超大陆<sup>[111]</sup>。据前人资料显示中元古代时期东昆仑地区岩浆岩信息稀少，但并不能否定中元古代东昆仑地区发生的岩浆事件，这也意味着闹仓坚沟组沉积地层的物质来源部分可能来自古老的东昆仑变质结晶基底。

### 4.4 物源属性综合分析

综合上述研究，闹仓坚沟组沉积地层自下而上岩性组合发生变化，下亚组主体为碎屑岩夹少量碳酸盐岩，上亚组主体为碳酸盐岩夹少量碎屑岩，沉积环境由浅海陆源碎屑沉积变为浅海碳酸盐台地沉积。闹仓坚沟组砂岩薄片镜下显示，矿物颗粒磨圆较差，分

选择性差,属于近源沉积。据其砂岩碎屑统计显示,闹仓坚沟组17件砂岩样品中石英平均含量为49%,表明砂岩成分成熟度较高;而Qt-F-L, Qm-F-Lt, Qp-Lv-Ls, Qm-P-K为端元的砂岩构造环境判别三角图解显示闹仓坚沟组沉积地层的物质来源较复杂,主要来自岩浆弧物源区、碰撞造山带物源及再旋回造山带物源,说明其碎屑成分来自与弧有关的再旋回造山带和碰撞造山带;主量元素中 $TiO_2$ 、 $Fe_2O_3^*+MgO$ 、 $Al_2O_3/SiO_2$ 、 $K_2O/Na_2O$ 及 $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$ 等各项数值均显示闹仓坚沟组砂岩物源的构造背景总体接近于大陆岛弧及活动大陆边缘,很好地对应了区域上东昆仑东段在晚二叠世构造环境由被动大陆边缘转变为活动大陆边缘;在闹仓坚沟组砂岩样品微量元素蛛网图中,曲线呈规律性变化,与上地壳微量元素含量基本一致,稀土元素分配曲线均呈右倾,出现明显的Eu元素的负异常;砂岩样品CIA平均值为63,属于初级风化,说明为近源堆积,与岩相学特征相互印证; $K_2O/Na_2O-SiO_2$ 图解显示其物源区的构造属性主要为活动大陆边缘,La、Th、Sc、Co、Zr等具有更强稳定性的元素为端元组成的三角构造环境判别图解则显示其物源区的构造属性主要为大陆岛弧,La/Sc-Co/Th图解显示闹砂岩样品的碎屑物质来自上地壳的花岗闪长岩向长英质火山岩的过渡源区,物源区大地构造环境主要为活动大陆边缘和大陆岛弧。碎屑锆石U-Pb年龄信息表明,闹仓坚沟组沉积地层的物质来源和研究区北侧出露大量不同时代的岩浆岩密切相关,主峰值(247Ma)反映其最主要的物质来源为晚海西—早印支期东昆仑东段一系列的安第斯型“陆缘弧”,其次峰值(425Ma)为东昆仑东段加里东期岩浆岛弧,以及东昆仑地区元古代变质结晶基底提供了少量物源。综合上述研究结果认为闹仓坚沟组沉积地层为弧前盆地沉积,其碎屑物质主要来源于北侧东昆仑再旋回造山带和安第斯型“陆缘弧”。确立中三叠统闹仓坚沟组沉积地层的物源构造背景及构造环境,对研究东昆仑南缘晚古生代—中生代的构造演化具有重要意义。

## 第五章 东昆仑造山带晚古生代—早中生代构造演化过程

东昆仑造山带是一个多期复合大陆造山带，在中元古代造山带结晶基底的基础上历经原特提斯洋演化阶段，并为古特提斯洋演化阶段奠定了早古生代浅变质褶皱基底。晚古生代以来，随着布青山—阿尼玛卿洋的打开或进一步扩张，进入了东昆仑地区古特提斯洋演化阶段。而中三叠统闹仓坚沟组是晚二叠世开始东昆仑造山带因布青山—阿尼玛卿洋向北俯冲造山而形成的安第斯型“陆缘弧”的弧前盆地沉积响应，因此东昆仑造山带晚古生代—早中生代构造演化过程是本文研究的重点。

### 5.1 晚泥盆世—中二叠世古特提斯洋壳形成及扩张阶段

在前泥盆纪古造山带基底基础之上，东昆仑地区在古特提斯的统一拉张体制下，于晚泥盆世—中二叠世形成布青山—阿尼玛卿古特提斯洋并持续扩张。边千韬等（1999）获得布青山得力斯坦沟枕状玄武岩 Rb-Sr 等时线年龄为  $340.3 \pm 11.6 \text{Ma}^{[11]}$ ，刘战庆（2011）获得哈尔郭勒东段蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $332.8 \pm 3.1 \text{Ma}^{[71,74]}$ ，杨杰（2014）于哈尔郭勒沟南侧海山玄武岩中获得其玄武岩锆石 U-Pb 年龄为  $340.8 \pm 2.8 \text{Ma}$ ，对应哈尔郭勒晚古生代 MORB 型蛇绿岩蛇绿岩（333Ma），说明东昆仑地区布青山—阿尼玛卿洋形成并持续扩张<sup>[100]</sup>。该阶段在东昆仑南缘处于一个被动大陆边缘体系，同时沉积了一套与其对应的沉积岩<sup>[59]</sup>（李瑞保，2012），如稳定环境浅水相碎屑岩—碳酸盐岩沉积组合的下石炭统哈尔郭勒组和上石炭统浩特洛哇组以及浅水台地相生物礁灰岩组合的上石炭统—中下二叠统树维门科组和深海—半深海盆地沉积的早中二叠世马尔争组。

### 5.2 晚二叠世—中三叠世古特提斯洋壳俯冲消减与陆缘弧发育阶段

晚二叠世，布青山—阿尼玛卿洋开始由扩张体制转变为向北俯冲的挤压体制，东昆仑南缘被动陆缘地区沉积盆地类型转化为挤压背景下的陆缘弧弧前盆地。东昆仑南缘地区上二叠统格曲组与上石炭统浩特洛哇组之间的角度不整合接触代表了布青山—阿尼玛卿洋俯冲的开始<sup>[59]</sup>（李瑞保等，2012），上二叠统格曲组的一套粗碎屑磨拉石沉积组合为其俯冲开始的沉积响应。受布青山—阿尼玛卿洋俯冲的影响，在东昆仑地区开始形成安第斯型“陆缘弧”，以及因俯冲消减的刮削作用而拼贴在大陆边缘的构造混杂岩带。哈拉尕吐花岗岩体形成年龄为  $256 \text{Ma}^{[101,59,68]}$ （孙雨等，2009，李瑞保等，2012，陈国超

等, 2014); 香加南山花岗岩体形成年龄为  $247\text{Ma}^{[68]}$  (陈国超等, 2014); 裴先治 (2014) 在得福胜中基性杂岩体中获得辉长岩形成年龄为  $239\text{Ma}^{[66]}$ 。随着俯冲的加剧, 北侧的一系列岩浆弧和老的结晶基底也随之抬升, 母岩受到风化剥蚀, 在搬运作用下快速沉积在弧前盆地, 进一步证实了中三叠统闹仓坚沟组沉积地层的物源属性。

### 5.3 中三叠世末古特提斯洋闭合与碰撞造山阶段

伴随着布青山—阿尼玛卿古特提斯洋俯冲的结束, 东昆仑地区在中三叠世晚期进入了全面碰撞造山阶段。区域上形成了与碰撞造山相关的岩浆岩以及沉积响应, 中三叠统希里可特组海陆过渡相沉积组合是俯冲向碰撞转变的沉积纪录。中三叠统希里可特组和中三叠统闹仓坚沟组之间的微角度不整合面及上三叠统八宝山组与下伏不同时代地层间的角度不整合面代表了洋盆的消失, 巴颜喀拉地块和东昆仑地块由局部碰撞转入全面碰撞造山<sup>[59]</sup> (李瑞保, 2012)。碰撞造山从严格意义上可以为同碰撞造山和后碰撞造山, 柴耀楚等 (1984) 通过对东大滩岩体的研究并获得其岩体的结晶年龄介于  $237\text{Ma}\sim 190\text{Ma}$  之间, 属于同碰撞阶段的 S 型花岗岩<sup>[118]</sup>。Zhang et al (2012) 获得香日德巴隆地区正长花岗岩的侵位年龄为  $231\text{Ma}$ , 地球化学数据反映具有较低的 Rb/Sr 比值和较高的 K、Rb、Th 及 Sr 含量, 属于同碰撞环境的产物<sup>[119]</sup>。陈国超 (2014) 获得东昆仑地区和勒冈希里可特岩体的结晶年龄为  $225\pm 5\text{Ma}$ , 获得科科鄂阿龙岩体结晶年龄为  $218.3\pm 1.4\text{Ma}$ , 并且认为二者均为后碰撞阶段产物, 前者更指示着同碰撞作用的结束而进入后碰撞阶段<sup>[59, 68]</sup> (李瑞保, 2012; 陈国超, 2014)。

### 5.4 晚三叠世碰撞造山后伸展与侏罗纪叠加改造阶段

东昆仑地区在经历了印支期陆陆碰撞造山运动之后, 在晚三叠世—侏罗纪之间作为一个整体遭受了燕山期陆内造山作用的改造。陆内造山作用主要表现为宽缓褶皱构造、逆冲推覆构造和走滑构造。在阿尼玛卿地区树维门科组灰岩被逆冲推覆于中侏罗统碎屑岩系之上, 同时又被白垩系陆相粗碎屑岩系不整合覆盖, 表明推覆作用发生于中晚侏罗世。

综上所述, 东昆仑地区于晚石炭世—中二叠世形成布青山—阿尼玛卿古特提斯洋并持续扩张, 到晚二叠世, 随着应力体制的转变, 布青山—阿尼玛卿洋壳开始由南向北俯冲, 直到中三叠世末期, 洋盆闭合并进入全面碰撞造山阶段, 并于中生代作为一个整体又遭受燕山期陆内造山作用的改造, 藉此完成了中央造山系印支期不同块体间的拼合并

形成中国大陆基本构造格架的西段任务<sup>[1,2,17-19,20,6,24,25,59]</sup> (姜春发等, 1992, 2000; 许志琴等, 2001, 2006a, 2006b; 张国伟等, 2003; 裴先治, 2001; 王国灿等, 1997, 1999; 李瑞保, 2012)。

## 第六章 结论与存在问题

### 6.1 结论

本论文是以现代板块构造理论、岩石大地构造学及大陆动力学研究的最新理论成果为学术指导思想,通过沉积岩石学、碎屑组分统计分析、岩石地球化学及同位素年代学等方法相结合,综合研究东昆仑东段南坡闹仓坚沟组沉积地层地质特征,系统分析其盆地性质及物质来源,结合区域地质资料和前人研究成果建立恢复晚古生代—早中生代东昆仑造山带地质演化过程。主要取得以下成果和认识:

1、根据地层岩石组合与沉积环境的差异,由老到新将闹仓坚沟组划分上下两个亚组,8个段。下亚组:第一段( $T_2n^1$ )主要为一套灰—深灰色薄层状灰岩,偶夹厚层状灰岩,第二段( $T_2n^2$ )主体为一套灰色薄层状中粒长石石英砂岩和粉砂岩,第三段( $T_2n^3$ )主体为一套钙质粉砂质泥岩、钙质粉砂岩及岩屑石英细砂岩,第四段( $T_2n^4$ )主要为一套钙质粉砂岩夹泥晶灰岩;上亚组:第五段( $T_2n^5$ )主体为一套灰—灰黑色薄层状灰岩,局部夹钙质粉砂岩,第六段( $T_2n^6$ )主体为一套肉红色或灰黑色厚层块状灰岩,中部为钙质长石石英砂岩,第七段( $T_2n^7$ )主要为一套长石石英细砂岩、中砂岩、钙质粉砂岩组合,第八段( $T_2n^8$ )主要为一套灰—深灰色薄层状灰岩夹泥灰岩和条带状灰岩。反映其沉积环境由浅海陆源碎屑陆棚沉积体系转变为浅海碳酸盐岩台地沉积体系。本文结合前人古生物资料、碎屑锆石信息、不整合接触面及科科鄂阿龙石英闪长岩体的侵入等四个方面,确定闹仓坚沟组形成时代为中三叠世( $T_2$ )。

2、闹仓坚沟组砂岩碎屑统计数据显示,其中石英、岩屑、长石平均含量分别为49%、26%、21%。石英含量大于40%,说明砂岩成分成熟度比较高;长石主要为斜长石,P/K比值为1.5;沉积岩岩屑、变质岩岩屑、火山岩岩屑含量分别占总岩屑的47%、29%、24%。Dickinson三角图解显示其物质来源较复杂,主要来自岩浆弧物源区、碰撞造山带及再旋回造山带。

3、砂岩岩石地球化学数据显示闹仓坚沟组砂岩样品中 $SiO_2$ 为56.71%~77.58%,平均值为70.13%; $TiO_2$ 含量在0.12%~0.99%之间,平均值为0.38%;较低的CIA值(CIA=57~70,平均值63)表明源岩遭受初级强度风化作用,具近源沉积特征;稀土元素分配曲线均呈右倾, $\sum LREE/\sum HREE$ 为5.7~9.2,均值7.4, Eu元素( $\delta Eu$ 为0.3~0.84)出现明显的的负异常。综合分析认为其物源区构造背景为大陆岛弧,联系区域地

质资料认为闹仓坚沟组沉积盆地类型为安第斯型“陆缘弧”的弧前盆地。

4、从闹仓坚沟组砂岩样品 11072/15 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄信息来看, 其年龄谱可分为 226~324Ma、372~576Ma、749~936Ma (细分为 749~779Ma 和 879~936Ma 两个亚组)、1010~1092Ma 四个年龄组, 峰值分别为 247Ma、425Ma、756Ma、900Ma 及 1013Ma, 其中以晚海西—印支期 (226~324Ma) 和加里东—早海西期 (372~576Ma) 为主体, 并呈现最强烈的峰值。结合区域地质资料对比, 认为东昆仑地区原特提斯洋和古特提斯洋演化所形成的岩浆弧是闹仓坚沟组的主要物质来源。

5、综合前人研究成果及区域构造岩浆演化事件, 将东昆仑东段晚古生代—早中生代构造演化过程划分为4个阶段: (1) 晚泥盆世—中二叠世古特提斯洋壳形成及扩张阶段; (2) 晚二叠世—中三叠世古特提斯洋壳俯冲消减与陆缘弧发育阶段; (3) 中三叠世末古特提斯洋闭合与碰撞造山阶段; (4) 晚三叠世碰撞造山后伸展与侏罗纪叠加改造阶段。

## 6.2 存在问题

本论文的研究虽然取得了一些新的认识和成果, 但由于研究区地质情况的复杂性以及本人在地质方面综合能力的局限性, 故本次研究中还存在许多问题有待以后进一步研究和探讨:

1、本文主要运用砂岩碎屑碎屑组分统计分析、砂岩岩石地球化学分析、碎屑锆石 U-Pb 年龄分析三种方法对闹仓坚沟组物源及构造背景进行了分析, 但缺少野外古流水方向统计等更为直接的物源分析方法。

2、对于闹仓坚沟组物源分析过于局限, 未能与东昆仑及其邻区相关地层作出对比。

3、由于研究区自然条件限制、缺少构造变形统计学数据支持, 因而未能划分其变形期次。

## 参考文献

- [1] 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 1—217.
- [2] 姜春发, 王宗起, 李锦轶. 中央造山带开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 1-100
- [3] 殷鸿福, 张克信. 东昆仑造山带的一些特点[J]. 地球科学, 1997, (4): 339-342.
- [4] 裴先治. 勉略—阿尼玛卿构造带的形成演化与动力学特征[D]. 西安: 西北大学博士学位论文, 2001, 1—155.
- [5] 裴先治, 张国伟, 赖绍聪, 等. 西秦岭南缘勉略构造带主要地质特征[J]. 地质通报, 2002, 21 (8/9): 484—494.
- [6] 裴先治, 李瑞保, 刘战庆, 等. 东昆仑南缘布青山构造混杂岩带的组成特征及其大地构造意义[A]. 2011年岩石学与地球动力学研讨会论文集[C], 西安: 西北大学, 2011.
- [7] 裴先治, 李佐臣, 李瑞保, 等. 祁连造山带东段早古生代葫芦河群变质碎屑岩中碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄: 源区特征和沉积时代的限定[J]. 地学前缘, 2012, 19 (5): 205—224.
- [8] 王永标, 黄继春, 骆满生, 等. 海西—印支早期东昆仑造山带南侧古海洋盆地的演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1997, 22 (4): 369—372.
- [9] 王永标, 徐桂荣, 林启祥, 等. 东昆仑地区早二叠世礁岛海的沉积模式[J]. 中国科学 (D辑), 2001, 31 (3): 243—249.
- [10] 王永标, 杨浩. 东昆仑—阿尼玛卿—巴颜喀拉地区早二叠世的生物古地理特征[J]. 中国科学 (D辑), 2003, 33 (8): 775—780.
- [11] 边千韬, 罗小全, 陈海泓. 阿尼玛卿蛇绿岩带花岗—英云闪长岩锆石 U-Pb 同位素定年及大地构造意义[J]. 地质科学, 1999, 34(4): 420—426.
- [12] 边千韬, 罗小全, 李涤徽, 等. 青海省阿尼玛卿带布青山蛇绿混杂岩的地球化学性质及形成环境[J]. 地质学报, 2001, 75 (1): 45—55.
- [13] 朱云海, 张克信, Pan Y, 等. 东昆仑造山带不同蛇绿岩带的厘定及其构造意义[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1999, 24 (2): 134—138.
- [14] 陈亮, 孙勇, 柳小明, 等. 青海省德尔尼蛇绿岩的地球化学特征及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 2000, 16 (1): 106—110.
- [15] 陈亮, 孙勇, 裴先治. 德尔尼蛇绿岩  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  年龄: 青藏最北端古特提斯洋盆存在和延展的证据[J]. 科学通报, 2001, 46 (45): 424—426.

- [16] 陈亮, 孙勇, 裴先治, 等. 古特提斯蛇绿岩的综合对比及其动力学意义——以德尔尼蛇绿岩为例[J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33 (12): 1136—1142.
- [17] 许志琴, 李海兵, 杨经绥, 等. 东昆仑山南缘大型转换挤压构造带和斜向俯冲作用[J]. 地质学报, 2001, 75 (2): 156—164.
- [18] 许志琴, 李海兵, 杨经绥. 造山的高原—青藏高原巨型造山拼贴体和造山类型[J]. 地学前缘, 2006a, 13 (4): 1—16.
- [19] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 青藏高原与大陆动力学——地体拼合、碰撞造山及高原隆升的深部驱动力[J]. 中国地质, 2006b, 33 (2): 5—22.
- [20] 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 等. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33 (12): 1121—1135.
- [21] 杨经绥, 王希斌, 史仁灯, 等. 青藏高原北部东昆仑南缘德尔尼蛇绿岩: 一个被肢解了的古特提斯洋壳[J]. 中国地质, 2004, 31 (3): 225—238.
- [22] 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 等. 东昆仑阿尼玛卿地区古特提斯火山作用和板块构造体系[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24 (5): 369—380.
- [23] 郭安林, 张国伟, 孙延贵, 等. 阿尼玛卿蛇绿岩带 OIB 和 MORB 的地球化学及空间分布特征: 玛积雪山古洋脊热点构造证据[J]. 中国科学 (D 辑), 2006, 36 (7): 618—629.
- [24] 王国灿, 张克信, 梁斌, 等. 东昆仑造山带结构及构造岩片组合[J]. 地球科学, 1997, 22 (4): 352—356.
- [25] 王国灿, 张天平, 梁斌, 等. 东昆仑造山带东段昆中复合蛇绿混杂岩带及“昆中断裂带”地质涵义[J]. 地球科学, 1999, 24 (2): 129—133.
- [26] 王国灿, 贾春兴, 朱云海, 等. 中华人民共和国阿拉克湖幅 1: 250000 区域地质调查报告 (I47C001001) [R]. 武汉: 中国地质大学 (武汉), 2003: 1—424.
- [27] 王国灿, 王青海, 简平, 等. 东昆仑前寒武纪基底变质岩岩系的锆石 SHRIMP 年龄及其构造意义[J]. 地学前缘, 2004, 11 (4): 153—162.
- [28] 王国灿, 魏启荣, 贾春兴, 等. 关于东昆仑地区前寒武纪地质的几点认识[J]. 地质通报, 2007, 26 (8): 929—937.
- [29] 吴根耀, 马力. “盆”、“山”耦合和脱耦: 含油气盆地研究的新思路[J]. 油气盆地研究新进展 (第一辑). 北京: 石油工业出版社, 2002, 20—36.
- [30] 张原庆, 钱祥麟. 盆山耦合概念及机制[J]. 中国地质, 2011, 28 (3): 1150—1167.

- [31] 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 等. 中国西部盆山系统的耦合关系及其动力学模[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2003, 77 (2): 177—186.
- [32] Dickinson W R. Suczek C A. Plate tectonics and sandstone composition[J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(12): 2164—2182.
- [33] Dickinson W R. Provenance of north American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting[J]. Geological Society of America Bulletin, 1983, 94: 222—235.
- [34] 杜远生. 西秦岭造山带泥盆纪沉积地质学研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997, 1—130.
- [35] 杜远生, 张哲, 周道华, 等. 北祁连—河西走廊志留纪和泥盆纪古地理及其对同造山过程的沉积响应[J]. 古地理学报, 2002. 4 (4): 1—8.
- [36] 裴先治, 胡楠, 刘成军, 等. 东昆仑南缘哥日卓托地区马尔争组砂岩碎屑组成、地球化学特征与物源构造环境分析[J]. 地质论评, 2015, 61 (2): 307—323.
- [37] 蔡雄飞, 刘德民. 东昆仑三叠系下、上浊积扇体的识别及研究意义[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(6): 1-8
- [38] 青海省地矿局. 青海省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991, 0—668.
- [39] 梁斌, 王国灿, 张克信, 等. 东昆仑中部构造混杂岩带右行走滑韧性剪切变形特征[J]. 中国区域地质, 2001, 20 (1): 46—57.
- [40] 范丽琨, 蔡岩萍, 梁海川, 等. 东昆仑地质构造及地球动力学演化特征[J]. 地质调查与研究, 2009, 30 (03): 181—186.
- [41] 殷鸿福, 张克信, 陈能松, 等. 中华人民共和国区域地质调查报告(1: 25 万冬给措纳湖幅)[R]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2003.
- [42] 蔡雄飞, 罗中杰, 刘德民, 等. 东昆仑三叠系一个不可忽视的地层单位——希里可特组[J]. 地层学杂志, 2008, 32 (4): 374—380.
- [43] Dickinson W R. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstone // Zuffa G G ed[J]. Provenance of Arenites, 1985, Reidel Dordrecht: 333—361.
- [44] Chen F K, Hegner E, Todt W. Zircon ages, Nd isotopic and chemical compositions of orthogneisses from the Black Forest, Germany: Evidence for a Cambrian magmatic arc[J]. International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch), 2000, 88: 791—802.
- [45] Chen F K, Siebel W, Satir M, et al. Geochronology of the Karadere basement (NW Turkey) and implications for the geological evolution of the Istanbul zone[J]. International Journal of

- Earth Sciences (Geol Rundsch), 2002, 91: 469—481.
- [46] 徐亚军, 杜远生, 杨海涛. 沉积物物源分析研究进展[J]. 地质科学情报, 2007, 26(3): 26—32.
- [47] 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 2003, 48(14): 1511—1520.
- [48] Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al. Accurate U Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation—inductively coupled plasma—mass spectrometry[J]. Geostandards and Geoanalytical Research. 2004, 28(3): 353—370.
- [49] Cherniak D J, Watson E B. Pb diffusion in zircon[J]. Chemical Geology, 2000, 172: 5—24.
- [50] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589—1604.
- [51] Cawood P A, Nemchin A A. Provenance record of a rift basin: U/Pb ages of detrital zircons from the Perth Basin, Western Australia[J]. Sedimentary Geology, 2000, 134: 209—234.
- [52] Cawood P A, Nemchin A A. Paleogeographic development of the east Laurentian margin: Constraints from U-Pb dating of detrital zircons in the Newfoundland Appalachians[J]. Geological Society of America Bulletin, 2001, 113: 1234—1246.
- [53] Cawood P A, Nemchin A A, Smith M, et al. Source of the Dalradian Supergroup constrained by U-Pb dating of detrital zircon and implications for the East Laurentian margin[J]. Journal of the Geological Society, London, 2003, 160: 231—246.
- [54] Cawood P A, Nemchin A A, Strachan R A, et al. Laurentian provenance and an intracratonic setting for the Moine Supergroup, Scotland, constrained by detrital zircons from the Loch Eil and Glen Urquhart successions[J]. Journal of the Geological Society, London, 2004, 161: 861—874.
- [55] Bruguier O, Lancelot J R, Malavieille J. U-Pb dating on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan — Ganze fiysch (Central China) : Provenance and tectonic correlations[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1997, 161: 217—231.
- [56] Wysoczanski R J, Gibson G M, Ireland T R. Detrital zircon age patterns and provenance in Late Paleozoic Early Mesozoic New Zealand terranes and development of the Paleo Pacific Gondwana margin[J]. Geology, 1997, 25: 937—942.

- [57] 刘智刚. 东昆仑阿拉克湖—红水川地区晚古生代—早中生代地层构造特征及其构造演化[D]. 西安: 长安大学硕士学位论文, 2011, 1—74.
- [58] 陈国超. 东昆仑南缘印支期花岗岩岩石成因及其地质意义[D]. 西安: 长安大学硕士学位论文, 2011, 1—119.
- [59] 李瑞保. 东昆仑造山带(东段)晚古生代—早中生代造山作用研究[D]. 西安: 长安大学博士学位论文, 2012, 1—173.
- [60] 陈国超, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑造山带晚三叠世岩浆混合作用: 以和勒岗希里可特花岗闪长岩体为例[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 1044—1065.
- [61] 骆满生, 张克信, 王国灿, 等. 东昆仑造山带塔妥煤矿羊曲组时代新知[J]. 地层学杂志, 2001, 25(1): 24—27.
- [62] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 造山的高原—青藏高原的地体拼合、碰撞造山及隆升机制[M]. 北京: 地质出版社, 2007, 225—244.
- [63] 陈有炘, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑造山带东段元古界小庙岩组的锆石 U-Pb 年龄[J]. 现代地质, 2011, 25(3): 510—521.
- [64] 张耀玲, 胡道功, 石玉若, 等. 东昆仑造山带牦牛山组火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地质通报, 2010, 29(11): 1614-1618.
- [65] 吴芳, 张绪教, 张永清, 等. 东昆仑闹仓坚沟组流纹质凝灰岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质力学学报, 2010, 16(1): 44-50.
- [66] 裴先治, 李瑞保, 李佐臣, 等. 青海省都兰县阿拉克湖—红水川地区七幅 1:5 万区域地质矿产调查报告[M]. 西安: 长安大学地质调查研究院, 2014.
- [67] 张亚峰, 裴先治, 丁仁平, 等. 东昆仑都兰可可沙地区加里东期石英闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其意义[J]. 地质通报, 2010, 29(1): 80—85.
- [68] 陈国超. 东昆仑造山带(东段)晚古生代—早中生代花岗质岩石特征、成因及地质意义[D]. 西安: 长安大学博士学位论文, 2014, 1—192.
- [69] 李佐臣, 裴先治, 刘战庆, 等. 东昆仑南缘布青山构造混杂岩带哥日卓托闪长岩体年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质学报, 2013, 87(8): 1090—1103.
- [70] 朱云海. 东昆仑复合造山带蛇绿岩、岩浆岩及构造岩浆演化[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2002: 55—91.
- [71] 刘战庆, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑南缘阿尼玛卿构造带布青山地区两期蛇绿岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其构造意义[J]. 地质学报, 2011, 85(2): 186—194.

- [72] 刘战庆, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑南缘布青山构造混杂岩带的地质特征及大地构造意义[J]. 地质通报, 2011, 30 (8): 1182—1195.
- [73] 刘战庆, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑南缘布青山构造混杂岩带早古生代白日切特中酸性岩浆活动: 来自锆石 U-Pb 测年及岩石地球化学证据[J]. 中国地质, 2011, 38 (5): 1150—1167.
- [74] 刘战庆. 东昆仑南缘布青山构造混杂岩带地质特征[D]. 西安: 长安大学博士学位论文, 2011: 1—180.
- [75] 李瑞保, 裴先治, 李佐臣, 等. 东昆仑南缘布青山构造混杂岩带哥日卓托洋岛玄武岩地球化学特征及地质意义[J]. 地学前缘, 2014, 21 (1): 183—195.
- [76] Li R B, Pei X Z, Li Z C, et al. Geochemical Features, Age, and Tectonic Significance of the Kekekete Mafic-ultramafic Rocks, East Kunlun Orogen, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(5), 1319—1333.
- [77] 冯建赞, 裴先治, 于书伦, 等. 东昆仑都兰县可可沙地区镁铁—超镁铁质杂岩的发现及其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 中国地质, 2010, 37 (1): 28—38.
- [78] Yang J S, Robinson P T, Jiang C F, et al. Ophiolites of the Kunlun Mountains, China and their tectonic implications[J]. Tectonophysics, 1996, 258: 299—305.
- [79] 王惠基, 祁良志. 青海三叠纪腹足类化石[J]. 古生物学报, 2010, 25 (1): 104—111.
- [80] Ingersoll R V, Bullard T F, Ford R L, et al. The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1984, 54: 103—116.
- [81] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. Journal of Geology, 1983, 91: 611—627.
- [82] Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: provenance and tectonic control[J]. Sedimentary Geology, 1985, (45): 97—113.
- [83] Bhatia M R. Composition and classification of Palaeozoic flyschmudrocks of eastern Australia: implications in provenance and tectonic setting interpretation[J]. Sedimentary Geology, 1985, 41: 249—268.
- [84] Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1986,

- 92: 181—193.
- [85] Crook K A W. Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositiona in flyscharenites (graywackes) [M]//DOTIR R H, SHAVER R H. Modern and ancient geosynclinal sedimentation Tulsa[J]. SEPM Spec Publ, 1974, 19: 304—310.
- [86] Cullers R L. The controls on the major and trace element variation of shales, siltstones, and sandstones of Pennsylvanian–Permian age from uplifted continental blocks in Colorado to platform sediment in Kansas[J]. USA: Geochimicaet Cosmochimica Acta, 1994, 58: 4955—4972.
- [87] 杨栋栋, 李双应, 赵大千, 等. 大别山北缘石炭系碎屑岩地球化学及碎屑锆石年代学分析及源区大地构造属性判别的制约[J]. 岩石学报, 2012, 28 (8): 2619—2628.
- [88] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and evolution[M]. Oxford Blackwell, 1985, 1—312.
- [89] Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements. Meteorite studies Dev, Geochemistry[J], 1984, 2: 63—114.
- [90] Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. Nature, 1982, 299: 715—717.
- [91] Nesbitt H W, Young G M. Formation and diagenesis of weathering profiles[J]. Journal of Geology, 1989, 97: 129—147.
- [92] McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin Brand McKayGA (eds. ). Geochemistry and Mineralogy of Rare EarthElements[J]. Reviews in Mineralogy, 1989, 21: 169—200.
- [93] McLennan S M, Hemming S, McDaniel D K, et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics[J]. Geological Society of America Special Paper, 1993, 284: 21—40.
- [94] McLennan S M, Hemming S R, Taylor SR et al. Early Proterozoic crustal evolution: Geochemical and Nd-Pb isotopicevidence from metasedimentary rocks, southwestern North America[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59: 1153—1177.
- [95] Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio[J]. The Journal of Geology, 1986, 94: 635—650.
- [96] Roser, B P, Korsch R J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined

- using discriminant function analysis of major element data[J]. *Chemical Geology*, 1988, 67: 119-139.
- [97] Gu X X, Liu J M, Zhang M H, et al. Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, South China: geochemical evidence. *Journal of Sedimentary Research*[J]. 2002, 72: 393—407.
- [98] Hoskin P W O. Rare earth element chemistry of zircon and its use a Provenance indicator[J]. *Geology*, 2002 28(8): 627—630.
- [99] Belousova E A, Griffin W L, O'Rilly S Y. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contrib Mineral Petrol*. 2002, 143: 602—622.
- [100] 杨杰. 东昆仑南缘布青山地区晚古生代洋壳型构造岩块地质特征及其构造属性研究[D]. 西安: 长安大学硕士学位论文, 2014: 1—74.
- [101] 孙雨, 裴先治, 丁仁平, 等. 东昆仑哈拉尕吐岩浆混合花岗岩—来自锆石 U-Pb 年代学的证据[J]. *地质学报*, 2009, 83(7): 1000-1010.
- [102] 熊富浩, 马昌前, 张金阳, 等. 东昆仑造山带早中生代镁铁质岩墙群 LA-ICP-MS 锆石定年、元素和 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学[J]. *岩石学报*, 2010, 27(11): 3350-3364.
- [103] 刘成东, 莫宣学, 罗照华, 等. 东昆仑壳—幔岩浆混合作用: 来自锆石 SHRIMP 年代学的证据[J]. *科学通报*, 2004, 49 (6): 596—602.
- [104] 刘成东. 东昆仑造山带东段花岗岩浆混合作用[M]. 北京: 地质出版社, 2008
- [105] 李瑞保, 裴先治, 李佐臣, 等. 东昆仑南缘布青山构造混杂带亿可哈拉尔花岗闪长岩年代学、地球化学特征及构造意义研究[J]. *地球学报*, 2014, 35 (4): 434—442.
- [106] 李王晔, 李曙光, 郭安林, 等. 青海东昆南构造带苦海辉长岩和德尔尼闪长岩的锆石 SHRIMP-U-Pb 年龄及痕量元素地球化学-对“祁—柴—昆”晚新元古代-早奥陶世多岛洋南界的制约[J]. *中国科学 (D 辑)*, 2007, 37 (增刊 I): 288—294.
- [107] 莫宣学, 罗照华, 邓晋福, 等. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长[J]. *高校地质学报*, 2007, 13 (3): 403—414.
- [108] 陈有炘, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑东段纳赤台岩群变火山岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. *地学前缘*, 2013, 20 (6): 240—254.
- [109] 张耀玲, 张绪教, 胡道功, 等. 东昆仑造山带纳赤台群流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. *地质力学学报*, 2010, 16 (1): 21—27.
- [110] 陆松年, 王惠初, 李怀坤, 等. 柴达木盆地北缘“达肯大坂群”的再厘定[J]. *地质通*

- 报, 2002, 21 (1): 19—23.
- [111] 陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 等. 秦岭中新元古代地质演化及其对 Rodinia 超大陆时间的响应[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [112] 陈能松, 孙敏, 王勤燕, 等. 东昆仑造山带中带的锆石 U-Pb 定年与构造演化启示[J]. 中国科学 (D 辑), 2008, 38 (6): 657—666.
- [113] 许荣华, N. B. W. HARRIS, C. L. LEWIS, 等. 拉萨至格尔木的同位素地球化学. 中—英青藏高原综合地质考察队. 青藏高原地质演化[A]. 北京: 科学出版社, 1990, 282—302.
- [114] 任军虎, 张琨, 柳益群, 等. 东昆仑金水口南变余辉长岩岩石地球化学与锆石定年[J]. 西北大学学报 (自然科学版), 2011, 41 (1): 100—106.
- [115] 甘彩虹. 青海东昆仑造山带火成岩岩石学、地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素特征研究[D]. 北京: 中国地质大学学位论文, 2014: 1—83.
- [116] 孟繁聪, 崔美慧, 吴祥珂, 等. 东昆仑祁漫塔格花岗质片麻岩记录的岩浆和变质事件[J]. 岩石学报, 2013, 29 (6): 2107—2122.
- [117] 陈能松, 李晓彦, 张克信, 等. 东昆仑山香日德南部白沙河岩组的岩石组合特征和形成年代的锆石 Pb-Pb 定年启示[J]. 地质科技情报, 2006, 25 (6): 1—7.
- [118] 柴耀楚, 冯秉贵, 杨经绥. 东昆仑中段东西大滩花岗岩带的基本特征及其成因的探讨[J]. 青藏高原地质文集, 1984, (15): 78—90.
- [119] Zhang J Y, Ma C Q, Xiong F H, et al. Petrogenesis and tectonic significance of the Late Permian-Middle Triassic calc-alkaline granites in the Balong region, eastern Kunlun Orogen, China[J]. Geological Magazine, 2012, 149(5): 892—608.

## 攻读硕士学位期间取得的研究成果

### 参与科研项目

- 1、国家自然科学基金项目《西秦岭北缘变形构造解析及祁连-秦岭构造交接关系研究》（项目编号：40972186）
- 2、国家自然科学基金项目《东昆仑南缘布青山构造混杂岩带物质组成、结构与构造演化过程》（项目编号：41172186）
- 3、青海省国土资源厅—中国铝业公司公益性区域地质矿产地质调查项目《青海省都兰县阿拉克湖—洪水川地区 I47E002007、I47E002008、I47E003005、I47E003006、I47E003007、I47E003008、I47E004008 七幅 1:5 万区域地质矿产调查》
- 4、中央高校基本科研业务费专项资金项目《东昆仑造山带（东段）主造山期晚期构造体制转换时限研究》（编号：2013G127091）
- 5、中国地质调查局地质调查工作项目《青海省共和县曲什纳地区 1:5 万 J47E021017、J47E021018、J47E022018 三幅区域地质矿产调查》（项目编号：12120114041201）
- 6、中国地质调查局地质调查工作项目《青海省循化县道帏地区 1:5 万 I48E002003、I48E003003 两幅区域地质矿产调查》（项目编号：12120114018219）

### 发表论文

- 1、陈伟男，裴先治，刘成军，李瑞保，李佐臣，魏博，胥晓春，刘图杰，王元元，任厚州.西秦岭舒家坝地区太阳寺岩组碎屑锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].中国地质，2014，41(3): 741-755
- 2、王元元，裴先治，刘成军，李瑞保，李佐臣，魏博，任厚州，陈伟男，刘图杰，胥晓春.西秦岭舒家坝地区泥盆纪舒家坝群碎屑锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年龄:源区特征与形成时代[J].地质通报，2014，33(07): 1015-1027
- 3、胥晓春，裴先治，刘成军，李瑞保，李佐臣，魏博，王元元，刘图杰，任厚州，陈伟男，陈有炘.西秦岭天水阴崖沟早古生代草滩沟群火山岩地球化学特征及其地质意义[J].中国地质，2014，41(3): 851-865
- 4、刘图杰，裴先治，刘成军，李佐臣，李瑞保，魏博，王元元，任厚州，胥晓春，陈伟男.西秦岭两当地区太阳寺岩组碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄:形成时代与源区特征[J].地质通报，2014，33(07): 1028-1040
- 5、任厚州，裴先治，刘成军，李佐臣，李瑞保，魏博，陈伟男，王元元，胥晓春，刘

图杰, 陈有炘.西秦岭天水地区太白花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J].地质通报, 2014, 33(07): 1041-1054

6、魏博, 裴先治, 刘成军, 裴磊, 李瑞保, 李佐臣, 陈有炘, 胥晓春, 刘图杰, 王元元, 任厚州, 陈伟男.西秦岭天水地区新阳—元龙韧性剪切带构造变形特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(01): 52-70

## 致 谢

本论文是在导师裴先治教授悉心指导下完成的，从论文的选题、论文构思、野外调研、到论文的撰写修改和最后成文的各个环节，都离不开导师裴先治教授大力支持和帮助，正是他的谆谆教导，使我受益终身。

时间如白驹过隙，转眼间三年时光已悄然过去，我的硕士研究生生涯也将结束。回顾这三年的点点滴滴，内心五味陈杂，学业的结束给我带来了些许欣慰，也不免还有些失落与不舍。裴老师不仅是我学业上的导师，更是我生活上的良师，他待人谦和，并以博大包容的胸襟及渊博的知识教育着我，同时他那种对科学严谨治学的态度及对科学孜孜不倦追求的精神，像灯塔一般照耀着我前进的道路。在此，谨向他致以最崇高的敬意及最真挚的感谢！衷心的感谢裴老师在我硕士学习期间对我的大力栽培和指导！

同时要感谢导师裴先治教授研究团队的所有成员，感谢李佐臣副教授、李瑞保老师、胡波老师；感谢同门师兄陈有炘、刘成军、李小兵，徐通等博士，魏博、刘图杰、胥晓春、任厚州、王元元等硕士以及师弟们在野外调研期间、室内资料整理、论文写作期间所给予的支持与帮助，感谢你们！同时，对一直关心我的家人和亲友们表示感谢，是你们给了我坚实的后盾，我才得以完成学业。

这里还要感谢论文评审和参与答辩的各位老师，衷心的感谢你们对本文提出的批评和建议！最后，我向所有曾经支持帮助过我的人致以最诚挚的祝福，祝你们工作顺利，身体健康！